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

**Seleção de genótipos de soja para resistência ao complexo de
percevejos**

Fabiani da Rocha

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

**Piracicaba
2015**

Fabiani da Rocha
Engenheira Agrônoma

Seleção de genótipos de soja para resistência ao complexo de percevejos

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ BALDIN PINHEIRO**

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

**Piracicaba
2015**

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

Rocha, Fabiani da
Seleção de genótipos de soja para resistência ao complexo de percevejos / Fabiani da
Rocha. - - Piracicaba, 2015.
82 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Resistência genética 2. Herdabilidade 3. Ganho genético 4. *Glycine max* I. Título

CDD 633.34
R672s

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

À Deus... Presença constante na minha vida! Durante toda a minha jornada em muitos momentos somente nele pude encontrar esperança e conforto.

Aos meus pais, Raul e Evanilda, que não mediram esforços para que eu alcançasse mais esta conquista.

Às minhas irmãs Regiani e Marciani, cunhados Ildemar e Ederson, ao sobrinho Vinícius e também ao Bruno que está a caminho, e a minha sobrinha-afilhada Mariana, agradeço pelo apoio.

À minha prima Taise, que aposta muito em mim! “Vá em frente, se der medo, vá com medo mesmo”. Obrigada pelo Natal de 2013! Sua presença fez meu fim de ano de brilhar!

Ao meu professor José Baldin Pinheiro pela orientação e palavras de incentivo: “Fica calma, no final dá tudo certo”. Acho que chegamos a um final, e espero que todo o nosso trabalho possa gerar bons frutos.

Aos colegas do grupo LAB-DGM em especial ao grupo SOJA, sem os quais o trabalho não teria sucesso! Tive amplo apoio dos colegas Kênia, Mônica, Fabiana, Felipe, Caio, Matheus, Sabrina, Jéssica, Ana Luísa... Principalmente enquanto estive no período de doutorado sanduíche. À Jaqueline pela ajuda no laboratório, e à Diane que abraçou a causa no fim da minha jornada.

Ao Professor Brian Diers e toda sua equipe pelo suporte durante o meu período de doutorado sanduíche em Illinois.

Aos professores e técnicos do Departamento de Genética pelos ensinamentos e suporte.

Ao professor Jefferson Luís Meirelles Coimbra por me introduzir neste caminho! Foi a sua disciplina e o convite para a iniciação científica que despertaram meu interesse nesta área, que sou apaixonada!

De maneira especial agradeço aqueles que posso chamar de amigos! “As pessoas entram em nossa vida por acaso, mas não é por acaso que elas permanecem” (Lilian Tonet). E que assim seja! Que cada amigo que ler esse meu agradecimento possa receber meu Muito Obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Importância econômica da soja	11
1.2 Principais Insetos-Praga de Ocorrência na Soja	12
1.2.1 Complexo de Percevejos.....	13
1.2.2 Resistência de Plantas a Insetos	16
Referências	19
2 CRITÉRIO EFETIVO DE SELEÇÃO PARA AVALIAR A RESISTÊNCIA AO COMPLEXO DE PERCEVEJOS EM SOJA	27
Resumo.....	27
Abstract	27
2.1 Introdução	27
2.2 Material e Métodos	29
2.3 Resultados e Discussão	31
2.4 Conclusões.....	35
Referências	36
3 SELEÇÃO DE LINHAGENS DE SOJA PARA RESISTÊNCIA AO COMPLEXO DE PERCEVEJOS EM DIFERENTES AMBIENTES.....	39
Resumo	39
Abstract	39
3.1 Introdução	40
3.2 Material e métodos	42
3.2.1 Obtenção da população	42
3.2.2 Experimentos	42
3.2.3 Fenotipagem	43
3.2.4 Análise dos dados	44
3.3 Resultados e discussão.....	46
3.3.1 População de percevejos	46
3.3.2 Componentes de Variância e Herdabilidade	48
3.3.3 Ganho de seleção	51
3.4 Conclusões.....	57
Referências	57
4 MELHORAMENTO DE SOJA PARA RESISTÊNCIA AO COMPLEXO DE PERCEVEJOS: MÉTODO GENEALÓGICO OU SPD?	61

Resumo	61
Abstract.....	61
4.1 Introdução.....	62
4.2 Material e Métodos	64
4.2.1 Material Vegetal.....	64
4.2.2 Métodos de seleção.....	65
4.2.2.1 SPD	65
4.2.2.2 Genealógico.....	65
4.2.3 Experimentos.....	66
4.2.3.1 SPD	66
4.2.3.2 Genealógico.....	66
4.2.4 Avaliação do Desempenho Agronômico e Resistência.....	67
4.2.5 Análise dos dados.....	68
4.3 Resultados e Discussão	69
4.4 Conclusões	78
Referências.....	78

RESUMO

Seleção de genótipos de soja para resistência ao complexo de percevejos

Os percevejos são considerados pragas-chave da cultura da soja, uma vez que se alimentam diretamente da parte reprodutiva das plantas danificando vagens e sementes. Sendo assim, os objetivos deste trabalho foram *i)* propor uma alternativa eficiente para a seleção de plantas resistentes em populações grandes; *ii)* identificar genótipos com excelente desempenho agrônômico e resistência ao complexo de percevejo em diferentes ambientes; e *iii)* comparar a eficiência de dois métodos de seleção. Para a verificação do PSB (peso de sementes boas) como critério para a seleção de genótipos com resistência, dois experimentos foram conduzidos a campo, com e sem controle químico de insetos. Índices foram empregados para a validação do PSB como um critério eficiente para a seleção de genótipos produtivos e com resistência. Na etapa seguinte, o PSB foi empregado para a seleção de genótipos a partir de uma população de linhagens endogâmicas recombinantes (LERs) obtidas do cruzamento de IAC-100 (resistente) com CD-215 (suscetível). O desempenho das linhagens obtidas pelo método de descendência de uma única vagem foi comparado ao de linhagens obtidas pelo método genealógico. Nos diferentes experimentos, conduzidos em condições de campo, sob infestação natural de insetos, foram avaliados: número de dias para a maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM), período de granação (PEG), acamamento (AC), valor agrônômico (VA), produtividade de grãos (PG), peso de cem sementes (PCS), retenção foliar (RF) e peso sementes boas (PSB). Baseado nos resultados foi possível concluir que o PSB é uma excelente estratégia para a seleção de genótipos com resistência ao complexo de percevejos, e com elevado potencial produtivo. Na população de LERs, tomando-se apenas aqueles genótipos com PSB mínimo de 2908,26 kg ha⁻¹ (perdas aceitáveis de 20% em relação à média de PG) o ganho de seleção (GS) foi de 665,4 e 482,4 kg ha⁻¹ safra 2012/13. Ou seja, o parâmetro empregado na seleção foi eficiente na identificação dos genótipos mais produtivos e com resistência ao complexo de percevejos. As estimativas dos componentes de variância mostraram a elevada influência da interação genótipo por ambiente sobre os caracteres PG e PSB, que tiveram as menores estimativas de herdabilidade (23 e 34% respectivamente). Ambos os métodos descendência de uma única vagem (SPD) e genealógico foram eficientes na geração de progênies superiores para produtividade e resistência ao complexo de percevejos. Tão logo, independe do método empregado o cruzamento CD-215 x IAC-100 apresenta potencial genético para a geração de progênies que além produtividade elevada e resistência ao complexo de percevejo.

Palavras-chave: Resistência genética; Herdabilidade; Ganho genético; *Glycine max*

ABSTRACT

Selection of soybean genotypes for resistance to stink bug complex

Stink bugs are considered key pests of soybean, because they feed directly on reproductive parts of the plant, causing damage to the seeds and pods. Thus, the present study aims to *i)* propose an efficient alternative for the selection of resistant plants in large populations; *ii)* identify lines with excellent agronomic performance and resistance to members of the stink bug complex, in different environments; and *iii)* compare the efficiency of two selection methods. To evaluate the good seed weight (GSW) as a criterion for selection of resistant genotypes, two experiments were conducted in the field, with and without chemical control of insects. To validate GSW as an efficient criterion for the selection of productive genotypes with resistance indices were used. In the next step, GSW was used for the selection of genotypes from a population of recombinant inbred lines (RILs) obtained from the cross IAC-100 (resistant) x CD-215 (susceptible). The performance of the lines obtained by single pod descent was compared to lines obtained by the pedigree method. The following characters were evaluated in field, under different locations with natural infestation by insects: number of days to maturity (NDM), plant height at maturity (PHM), grain filling period (GFP), lodging (L), agronomic value (AV), grain yield (GY), 100 seed weight (HSW), leaf retention (LR) and good seeds weight (GSW). Based on the results, we concluded that the selection based on GSW is an excellent strategy for identifying genotypes with resistance to stink bugs, and high yield potential. In the RIL population, choosing only those genotypes with a minimum GSW of 2908.26 kg ha⁻¹ (acceptable losses of 20% from the GY average) the selection gain (SG) was 665.4 and 482.4 kg ha⁻¹, season 2012/13. The parameter used in the selection was effective in identifying the most productive genotypes with resistance to the stink bug complex. Estimates of variance components showed a major influence of genotype by environment interaction for GY and GSW, which had the lowest heritability estimates (23 and 34% respectively). The single pod descent (SPD) and pedigree methods were both efficient in generating superior progenies for yield and resistance to stink bugs. Independent of the method used, the CD-215 x IAC-100 cross has genetic potential to generate progenies that combine high productivity and resistance to pests in the stink bug complex.

Keywords: Genetic resistance; Heritability; Genetic gain; *Glycine max*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Importância econômica da soja

A soja cultivada pertence à classe das dicotiledôneas, é um membro da Família Fabaceae (WOJCIECHOWSKI et al., 2006) e acredita-se que tenha se originado na China (HYMOWITZ e SING, 1987). Seu surgimento no Brasil deu-se no início do século XX, porém seu impulso maior aconteceu em meados dos anos 70, em virtude da quebra de safra da Rússia e da incapacidade dos Estados Unidos suprirem a demanda mundial. Nesta época o Brasil superou até a China, que era o segundo maior produtor mundial de soja com 8.500.000 toneladas, ficando logo atrás dos Estados Unidos, o maior produtor mundial (MISSÃO, 2006).

Anualmente cerca de 314,37 milhões de toneladas são produzidas no mundo (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2015). Os Estados Unidos são responsáveis por aproximadamente 35% (108,01 milhões de toneladas), o que torna o país o maior produtor mundial. O Brasil tem ocupado o segundo lugar, sendo que a safra de soja 2014/15 está estimada em 95.919,8 mil toneladas em 31.621,8 mil ha, o que representa um incremento de 4,8 e 11,4% respectivamente em relação à safra passada (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015). A produtividade média nacional é de 3.033 kg ha⁻¹, sendo o Estado do Mato Grosso o principal produtor, seguido do Paraná e Rio Grande do Sul.

O país exportou em 49,6 milhões toneladas, um montante de US\$23,27 bilhões (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015). Este grão é responsável por boa parte do PIB brasileiro (RAMOS, 2013), que encerrou 2013 com um crescimento de 2,3% em relação a 2012, em valores correntes totalizou R\$4.838,00 bilhões. A expansão do PIB resultou do aumento de 2,1% do Valor Adicionado a preços básicos e do crescimento de 3,3% nos Impostos sobre Produtos Líquidos de Subsídios. O resultado do Valor Adicionado neste tipo de comparação refletiu o desempenho das três atividades que o compõem: Agropecuária (7,0%), Indústria (1,3%) e Serviços (2,0%). Na agropecuária, várias culturas de destaque apresentaram ganhos em produção e produtividade, sendo a soja responsável por 24,3% (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2013). E ainda, nos municípios com grandes áreas de

cultivo, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é superior ao das médias estadual e nacional (VERNETTI e VERNETTI-JUNIOR, 2009).

No entanto, mesmo com os sistemáticos trabalhos de pesquisas, vários problemas fitossanitários acometem a cultura, que está sujeita durante todo ciclo ao ataque de insetos-praga, o que por sua vez acarretam em redução de produtividade e da lucratividade do produtor.

1.2 Principais Insetos-Praga de Ocorrência na Soja

A agricultura moderna é caracterizada pela monocultura, muitas vezes, em áreas extensas. Esta prática resulta em agroecossistemas onde as plantas cultivadas se tornam altamente vulneráveis a patógenos e insetos-praga, que podem se espalhar facilmente de um campo para outro (BOERMA e WALKER, 2005).

Os insetos são importantes pragas de leguminosas em todo o mundo, tanto pelos danos causados pela alimentação direta, quanto por serem vetores ou por promoverem sítios de infecção para patógenos de plantas. A cultura da soja está sujeita ao ataque de insetos-praga durante todo o ciclo.

Após a germinação, com o início do estágio vegetativo, insetos como o bicudo-da-soja (*Sternuchus subsignatus*), a lagarta elasm (*Elasmopalpus lignosellus*), os corós (*Scarabaeoidea*) e os percevejos-castanhos-da-raiz (*Scaptocoris castanea* e *Atarsocoris brachiariae*) danificam a cultura. Durante as fases vegetativa e de floração, insetos desfolhadores como a lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatilis*), a lagarta falsa-medideira (*Pseudoplusia includens*) e vários outros atacam a planta. Com o início da fase reprodutiva, surgem os percevejos sugadores de vagens e sementes (*Nezara viridula*, *Piezodorus guildinii* e *Euschistus heros*), dentre outras espécies, que causam danos desde a formação das vagens até o final do enchimento dos grãos (HOFFMANN-CAMPO et al., 2000).

Na safra de 2013 uma nova praga ganhou importância: *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: *Noctuidae*). A primeira notificação ocorreu nos Estados de Goiás, na cultura da soja; Bahia, em tigueria de soja; e Mato Grosso, na cultura do algodoeiro (CZEPAK et al., 2013). Na Safra 2012/13 em função das irregularidades climáticas (baixo índice pluviométrico e má distribuição das chuvas), aliadas ao manejo inadequado das culturas implantadas no cerrado, houve uma explosão da *Helicoverpa armigera* nas áreas de cultivo, o que culminou com a elevação dos

custos com a utilização de inseticidas da ordem de US\$150 ha⁻¹ para soja (AGÊNCIA ESTADUAL DE DEFESA AGROPECUÁRIA DA BAHIA – ADAB, 2013).

Dentre os insetos-praga, os percevejos sugadores de sementes são considerados, em vários países, como de maior importância, pelo dano que causam na cultura (GODOI e PINHEIRO, 2009; GUEDES et al., 2012).

1.2.1 Complexo de Percevejos

Percevejos (Hemiptera: *Pentatomidae*) são pragas de importância econômica para a maioria das culturas e geralmente são as de maior dificuldade de controle (KAMMINGA et al., 2012). Na soja, são considerados como o principal problema entomológico (PANIZZI; BUENO e SILVA 2012). Conhecidos como "complexo de percevejos", as espécies *Nezara viridula*, *Piezodorus guildinii* e *Euschistus heros*, são predominantes no Brasil (GUEDES et al., 2012) e ocorrem principalmente na fase de formação e maturação de vagens (PANIZZI e SLANSKY, 1985; GODOI et al., 2002). A colonização da soja por percevejos inicia tipicamente durante a pré-floração alcançando o máximo no final do período de granação (CORRÊA-FERREIRA e PANIZZI, 1999). A medida que a soja senesce, os insetos deslocam-se para outras espécies de plantas hospedeiras.

Euschistus heros ocorre em densidades mais elevadas, sendo considerado, portanto, de maior importância, tanto em regiões mais frias, como em regiões mais quentes (ROGGIA et al., 2011). As ninfas deste percevejo iniciam a alimentação no segundo instar, mas apenas causam danos a partir do terceiro. Na soja este percevejo geralmente completa três gerações (PANIZZI; BUENO e SILVA 2012).

Nos Estados Unidos, os percevejos são um problema típico no Sul (BOYD e BAILEY, 2000). Em Missouri as espécies *Acrosternum hilare* (Say) e *Euschistus* spp. infestam os campos de soja. Em Lousiana são predominantes *P. guildinii*, *N. viridula* L., *E. servus* (Say) e *A. hilare* (TEMPLE et al., 2013a). Recentemente *P. guildinii* tem se tornado a maior praga da soja em Lousiana e começou a infestar soja no Meio-Sul (TEMPLE et al., 2013b). No estado do Mississippi predominam *N. viridula* L., *A. hilare*, e *E. servus* (CATCHOT, 2013). Uma nova espécie, *Halyomorpha halys* (Stal), tem preocupado os produtores de soja do Médio-Atlântico (HOOKS, 2011).

Ninfas e adultos alimentam-se através da inserção dos estiletes nas vagens, atingindo diretamente as sementes causando um dano direto, além da extração dos

nutrientes (JONES et al., 2011). Como resultado tem-se redução no rendimento e na qualidade dos grãos devido a baixa percentagem de germinação, diminuição do vigor, redução no tamanho da semente, redução no conteúdo de óleo, pequeno incremento no conteúdo de proteína e redução no período de estocagem em consequência das picadas e da transmissão de moléstias, como a levedura *Eremothecium coryli* (antes denominada *Nematospora coryli* Peglion) (KIMURA, 2007; DAUGHERTY, 1967; FOSTER e DAUGHERTY, 1969; TURNIPSEED e KOGAN, 1976). Sementes com dano por percevejo apresentam aumento na incidência de *Fusarium* spp e algumas bactérias (RUSSIN et al., 1988). Ainda, os danos causados nas sementes favorecem a colonização por microrganismos, acelerando o processo de fermentação durante o beneficiamento e armazenamento, e estes se transformam em grãos fermentados, que tem seu percentual diretamente somado aos demais grãos avariados (QUIRINO, 2012). Importadores podem rejeitar grãos se o dano por percevejos for expressivo, resultando em grandes perdas econômicas (CHYEN et al., 1992). De acordo com Degrande e Vivan (2011) quando os percevejos atacam vagens, as perdas podem ser superiores a 30%, e as perdas no valor germinativo das sementes podem ser superiores a 50%.

Em função do ataque pelo complexo de percevejos, tem-se ainda atraso na maturação da cultura (PANIZZI e SLANSKY, 1985), com consequências negativas importantes, já que a retenção foliar afeta de sobremaneira a produção da cultura (ROSSETTO et al., 1986). O índice de retenção foliar depende de qual percevejo realizou a punctura. Em estudos com infestação artificial *Piezodorus guildinii* ocasionou maior índice de retenção foliar que *Nezara viridula* e *Euschistus heros*, para este último praticamente nenhuma retenção foliar foi observada (SOSA-GÓMEZ e MOSCARDI, 1995).

O dano na qualidade da semente é expressivo. Da mesma forma que para a retenção foliar, os efeitos de *Piezodorus guildinii* têm se mostrado mais graves, quando é avaliado o peso das sementes, bem como qualidade pelo teste visual e de tetrazólio (CORRÊA-FERREIRA e AZEVEDO, 2002).

Uma pesquisa desenvolvida nos Estados Unidos apontou o complexo de percevejos como os mais importantes insetos-praga na cultura da soja, sendo que os produtores fazem em média um tratamento com inseticida por ano para o controle, e o custo médio é US\$18,50 ha⁻¹ (CAMPOS et al., 2010). De acordo com Musser et al. (2010) os percevejos infestaram 80% da área cultivada com soja,

causando perdas de 126.000 toneladas em 2009. E o custo de controle em Mississippi de 2003 a 2009 variou de 27 a US\$49 ha⁻¹ (MUSSER e CATCHOT 2008; MUSSER et al. 2010, 2011).

Dados do CEPEA de 2011 mostram que o custo de aplicação em Sorriso/MT girava em torno de R\$6,80 ha⁻¹, com a utilização do metamidofós (uso proibido desde 30 de junho de 2012), acefato R\$ 5,88 ha⁻¹ (em vias de proibição), Beta ciflutrina + Imidacloprido R\$ 9,15 ha⁻¹ e Tiametoxan + Lambdacialotrina R\$ 10,89 ha⁻¹ (CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA, 2011). Os gastos com inseticida são relativamente pequenos por hectare dentro do custo operacional de produção, mas considerando-se a extensão de terra cultivada, os impactos podem ser significativos aos produtores (CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA, 2011).

Os inseticidas têm apresentado papel importante no controle, no entanto, tem deixado a desejar nos últimos anos: casos de resistência de percevejos aos produtos, queda na eficiência no controle de populações suscetíveis (PANIZZI; BUENO e SILVA 2012), reduzido número de moléculas disponíveis (CORRÊA-FERREIRA et al., 2013) e falta de inovação em moléculas (GUEDES et al., 2012). Não existe perspectiva para a liberação de novas moléculas de inseticidas nesta década (GAZZONI, 2012).

Estima-se que em torno de 40% das aplicações de inseticidas na cultura da soja sejam voltadas ao controle de percevejos. Este fato se agrava quando se considera o aumento das populações de percevejos e a interação com outras culturas, nas quais estes insetos também são pragas. Vinculando-se isto ao uso do Bt (*Bacillus thuringiensis*), até o final da década estima-se que 60% das aplicações de inseticida em soja serão para controle de percevejos (GAZZONI, 2012).

Além do custo envolvido, o uso excessivo de inseticidas tem proporcionado consequências drásticas de poluição ambiental. Muitas vezes, a aplicação dos inseticidas é realizada de forma inadequada, seja através de aplicações preventivas, junto com o dessecante ou com o herbicida pós-emergente ou mesmo com as aplicações de fungicidas (EMBRAPA, 2013). Essas práticas, aliadas ao não uso das amostragens de pragas com o método do pano de batida, tem levado a um grande desequilíbrio nas lavouras de soja acarretando sérios problemas como, por exemplo, a eliminação do complexo de inimigos naturais e parasitoides benéficos. Além disso, o uso excessivo de pesticidas pode resultar em desenvolvimento de resistência das

pragas, contaminação da água da superfície e do subsolo, contaminação de animais e impacto nos polinizadores.

Neste panorama, torna-se necessário o desenvolvimento de cultivares de soja resistentes ao complexo de percevejos. O controle de insetos através do uso cultivares resistentes oferece uma série de vantagens, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico: *i)* É gratuito para o agricultor, por esta razão, o controle de pragas com variedades resistentes pode representar economia para o agricultor e possibilidade de aumento de renda líquida; *ii)* Não é poluente nem acarreta problemas de resíduos tóxicos nos alimentos produzidos, oferecendo grande vantagem de segurança tanto para o produtor como para o consumidor; *iii)* Não apresenta problemas de transferência de tecnologia, indo através da semente melhorada diretamente da pesquisa para o usuário; *iv)* Benefícios sociais, por permitir que a cultura seja praticada por agricultores com menor disponibilidade de capital e de equipamentos para aplicação de defensivos (VENTURA e PINHEIRO, 1999); *v)* Atua contra qualquer nível de infestação da praga, não havendo necessidade de aguardar a população atingir o nível de dano econômico para ser utilizado; *vi)* Não interfere com outras práticas agrícolas, especialmente com a colheita, inexistindo tempo de carência entre sua aplicação e a data da colheita; e *vii)* O uso de plantas resistente é geralmente compatível com medidas de controle biológico de pragas e também com outras medidas de controle (ROSSETTO et al., 1981; LARA, 1991, LOPES et al., 1997; GODOI et al., 2002).

1.2.2 Resistência de Plantas a Insetos

O uso da tecnologia Bt não é a única tática disponível para o desenvolvimento de cultivares com resistência a insetos. Quando existem fontes de resistência adequadas torna-se possível o desenvolvimento de cultivares convencionais de soja com resistência a insetos.

No Brasil, o programa de melhoramento do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) já lançou cultivares resistentes a insetos pragas, IAC-100, IAC-17 (ROSSETTO et al., 1989; PINHEIRO, 1993; VEIGA et al., 1999), além de IAC-23 e IAC-24 (MIRANDA et al., 2001; MIRANDA e LOURENÇÃO 2002). Porém, são poucas e adaptadas somente à região Sudeste (GODOI et al., 2002), e estão obsoletas em relação ao patamar de produtividade atual. Tornando-se, então,

fundamental o desenvolvimento de novas cultivares que agreguem rendimentos expressivos e resistência ao complexo de percevejos.

Variedade resistente pode ser definida como aquela que é menos danificada que outra, em igualdade de condições, em função da sua constituição genotípica (ROSSETTO, 1973). Existem três tipos de resistência: antixenose, antibiose e tolerância (HESLER e THARP, 2005; SILVA et al., 2013).). Ao contrário do que se registra para Fitopatologia, na Entomologia, tolerância é um tipo de resistência, não sendo classificada separadamente.

A antixenose ou não preferência é verificada quando uma planta ou variedade é não atrativa ou não preferida pelo inseto, pela presença de fatores morfológicos ou químicos, em comparação com outra planta (RECTOR et al., 2000). A antibiose ocorre quando o inseto usa a planta normalmente como seu hospedeiro, porém esta afeta a sua biologia. Já a tolerância refere-se à capacidade da planta de suportar ou recuperar-se de uma injúria causada por um inseto sem afetar a sua biologia ou comportamento (SMITH, 2005).

No geral, estes três mecanismos têm se mostrado associados à resistência da soja ao complexo de percevejos. Em estudo realizado por Rossetto e Lourenção (1981b) as linhagens IAC-73/228 e IAC-77/656, apresentaram um baixo número de picadas, o que configura resistência do tipo não-preferência. Por outro lado, a PI229358 ocasionou mortalidade de ninfas, alongamento do período de desenvolvimento e menor ganho de peso para ninfas, o que condiz com o mecanismo de antibiose (JONES e SULLIVAN, 1979). Para a PI171444, quando as avaliações foram feitas a campo, a resistência foi explicada pelos mecanismos de antibiose, não-preferência e evasão; e em laboratório a resistência foi associada apenas a não-preferência (KESTER; SMITH e GILMAN 1984). É importante salientar que a evasão é uma pseudo-resistência, e ocorre quando a planta passa rapidamente pela sua fase de maior suscetibilidade (LARA, 1991). Rossetto e Lara (1991) propuseram outro mecanismo de pseudo-resistência denominado diluição de dano. De acordo com estes autores a cultivar de soja IAC-100 tem produtividade semelhante a IAS 5, porém, o tamanho da semente menor. Dessa forma, uma lavoura de IAC-100 tem o dobro de sementes que uma lavoura de IAS 5, o que provoca uma diluição de 50% no dano de percevejos. Embora estes fenômenos não sejam casos de resistência propriamente ditos, podem ser utilizados na prática, contribuindo para o controle de determinados insetos-praga.

Silva et al. (2013) identificaram que os genótipos PI 229358, PI 274454, L1-1-01, IAC-19, PI 171451, PI227687, IAC-100, IAC-78-2318, PI 274453, e IAC-74-2832 causam alta mortalidade ninfal de *P. guidinii* (maior que 90%), o que demonstra a expressão de antibiose. A mortalidade ninfal pode ser relacionada a fatores físicos, como a distância que separa o grão da vagem, fazendo que o alimento fique inacessível (PANIZZI e SILVA, 2009). IAC-100, IAC-74-2832, PI 274453, e IAC-24 também alongam o estágio ninfal, mostrando o mesmo mecanismo de resistência. Um maior período ninfal pode estar relacionado a um menor conteúdo proteico presente nos grãos destes genótipos (PANIZZI, 1991). PI 227687 ocasionou a menor taxa de viabilidade ninfal (SILVA et al., 2013). O efeito deste genótipo sobre o inseto pode estar relacionado a alta concentração das isoflavonas genisteína e daidzeína (CARRÃO-PANIZZI e KITAMURA, 1995; PIUBELLI et al., 2005).

Em grãos maduros dos genótipos TMG 117RR, TMG 121RR, Conquista, TMG 103RR, e PI 227687 Souza et al. (2013) verificaram que estes são menos atrativos a adultos de *N. viridula*, sugerindo a presença de compostos voláteis indesejáveis aos insetos ou mesmo resistência física a alimentação. Em relação à atratividade de vagens verdes, esses autores observaram que IAC-17 e PI 227687 são menos atrativos, e um alto nível de atração foi observado pelos genótipos IAC-19 e TMG 117RR. As vagens de IAC-17 apresentam ainda valores menores quanto ao número de picadas e tempo de alimentação, logo este genótipo é menos preferido e menos consumido, indicando a não preferência como mecanismo de resistência. A presença de um alto número de tricomas pode ser considerada como o principal fator de resistência desse genótipo contra *N. viridula*.

O mecanismo de resistência do tipo tolerância está relacionado à capacidade da cultivar IAC-100 em abortar as vagens danificadas e substituí-las por novas (ROSSETTO et al., 1995).

Esses resultados mostram que existem alelos de resistência da soja ao complexo de percevejos disponíveis. Faz-se necessário que programas de melhoramento invistam no desenvolvimento de linhagens que associem elevada produtividade e resistência ao complexo de percevejos, para que se aumente a disponibilidade de cultivares para outras regiões edafoclimáticas.

Referências

AGÊNCIA ESTADUAL DE DEFESA AGROPECUÁRIA DA BAHIA – ADAB.

Programa de supressão da *Helicoverpa armigera*, 2013. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PROGRAMA%20SUPRESSAO%20BAHIA%202013%20-%20MAPA%20_2_.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2014.

BOERMA, H.R.; WALKER, D.R. Discovery and utilization of QTLs for insect resistance in soybean. **Genetica**, Dordrecht v.123, n.1/2, p.181-189, 2005.

BOYD, M.L.; BAILEY, W.C. **Soybean Pest Management: Stink Bugs**. State Extension Entomology Specialists. Columbia: MU Extension, University of Missouri-Columbia, 2000. 2p. Disponível em: <<http://extension.missouri.edu/explorepdf/agguides/pests/g07151.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

CAMPOS, M.; KNUTSON, A.; HEITHOLT, J.; CAMPOS, C. Resistance to Seed Feeding by Southern Green Stink Bug, *Nezara viridula* (Linnaeus), in Soybean, *Glycine max* (L.) Merrill. **Southwestern Entomologist**, Washington, v.35, n.3, p. 233-239, 2010.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; KITAMURA, K. Isoflavone content in Brazilian soybean cultivars. **Breeding Science**, Tokyo, v. 45, n. 3, p. 295-300, 1995.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. **Proibição do metamidofós deve elevar custos no controle de percevejos**, 2011. Disponível em: < <http://cepea.esalq.usp.br/soja/custos/2011/03Ago.pdf>>. Acesso em: 4 mar. 2014.

CHYEN, D.; WETZSTEIN, M.E.; MCPHERSON, R.M.; GIVAN, W.D. An economic evaluation of soybean stink bug control alternatives for the southeastern United States. **Southern Journal of Agricultural Economics**, Mississippi, v. 24, n.2, p. 83-94, 1992.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, quarto levantamento, janeiro 2015. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_09_09_00_21_boletim_gaos_janeiro_2015.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2015.

CORRÊA-FERREIRA, B. S.; CASTRO, L. C. de; ROGGIA, S.; CESCINETTO, N. L.; COSTA, J. M. da; OLIVEIRA, M. C. N. de. **MIP-Soja: resultados de uma tecnologia eficiente e sustentável no manejo de percevejos no atual sistema produtivo da soja**. 2013. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/87596/1/Doc-341.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

CORRÊA-FERREIRA, B.S.; AZEVEDO, J. Soybean seed damage by different species of stink bugs. **Agricultural and Forest Entomology**, Malden, v.4, n.2, p.145–150, 2002.

CORRÊA-FERREIRA, B.S.; PANIZZI, A.R. **Percevejos da soja e seu manejo**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1999. 45p.

CZEPAK, C.; ALBERNAZ, K.C.; VIVAN, L.M.; GUIMARÃES, H.O.; CARVALHAIS, T. Primeiro registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.43, n.1, p. 110-113, 2013.

DAUGHERTY, D.M. Pentatomidae as vectors of yeast spot disease of soybeans. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v.60, n.1, p.147-152, 1967.

DEGRANDE, P.E.; VIVAN, L.M. Pragas da soja. In: YUYAMA, M. M.; SUZUKI, S.; CAMACHO, S.A. **Boletim de Pesquisa de Soja**. Rondonópolis: Fundação MT, v.11, 2007. 274p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil, 2014**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265p.

FOSTER, J.E.; DAUGHERTY, D.M. Isolation of the organism causing yeast-spot disease from the salivary system of the green stink bug. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v.62, n.2, p.424–427, 1969.

GAZZONI, D.L. Perspectivas do manejo de pragas. In: HOFFMANN-CAMPO, C.B.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; MOSCARDI, F. **Soja - Manejo Integrado de Insetos e outros Artrópodes-Praga**. Brasília: EMBRAPA, 2012. cap.12. p. 789 - 829.

GODOI, C.R.C.; PINHEIRO, J.B. Genetic parameters and selection strategies of soybean genotypes resistant to stink bug complex. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.32, n.2, p.328-336, 2009.

GODOI, C.R.C.; PEREIRA, F.S.; UMENO, F.; ÁZARA, N.A.; LIMA, P.M.S.; SILVA, R.P.; OLIVEIRA, A.B.; ARAÚJO, I.M.; ZUCCHI, M.I.; PINHEIRO, J.B. Resistência a insetos em populações de soja com diferentes proporções gênicas de genitores resistentes. **Revista Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.1, n.32, p.47-55, 2002.

GUEDES, J.V.C.; ARNEMANN, J.A.; STÜRMER, G.R.; MELO, A.A.; BIGOLIN, M.; PERINI, C.R.; SARI, B.G. Percevejos da soja: novos cenários, novo manejo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, jan./fev., p.28-34, 2012.

HESLER, L.S.; THARP, C. Antibiosis and antixenosis to *Rhopalosiphum padi* among triticales accessions. **Euphytica**, Dordrecht, v.143, n.1/2, p.153-160, 2005.

HOFFMANN-CAMPO, C.B.; MOSCARDI, F.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; OLIVEIRA, L.J.; SOSA-GOMEZ, D.R.; PANIZZI, A.R.; CORSO, I.C.; GAZZONI, D.L.; OLIVEIRA, E.B. **Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 70p.

HOOKS, C. **Stink bug and their soybean obsession**. Agronomy News, University of Maryland Extension, 2011. Disponível em: <http://www.mdcrops.umd.edu/UMDextension/AgronomyNewsAugust_18_2011.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2014.

HYMOWITZ, T.; SINGH, R.J. Taxonomy and Speciation. In: WILCOX, J.R. **Soybeans: Improvement, Production and Uses**. Madison: American Society of Agronomy, 1987. p. 23-45.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores IBGE - Contas Nacionais Trimestrais - Indicadores de Volume e Valores Correntes, Outubro/Dezembro 2013**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Contas_Nacionais_Trimestrais/Fasciculo_Indicadores_IBGE/pib-vol-val_201304caderno.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2014.

JONES, J.L.; ALLEN, T.W.; TOMASO-PETERSON, M.; CATCHOT, A.L.; MUSSER, F.R.; GORE, J. Relationship between stink bugs and seed decay in Mississippi soybean production. In: APS-IPPC JOINT MEETING, 2011, Honolulu. **Proceedings...** Honolulu: The American Phytopathological Society, 2011. Disponível em: <http://www.apsnet.org/meetings/Documents/2011_Meeting_Abstracts/a11ma494.htm>. Acesso em: 28 jan. 2015.

JONES, W.; SULLIVAN, M.J. Soybean Resistance to the Southern Green Stink Bug, *Nezara viridula*. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 72, n. 4, p.628-632, 1979.

KAMMINGA, K.L.; KOPPEL, A.L.; HERBERT, JR. D.A.; KUCHAR, T.P. Biology and Management of the Green Stink Bug. **Journal of Integrated Pest Management**, Annapolis, v. 35, n. 3, p.233-239, 2010.

KESTER, K.M.; SMITH, C.M.; GILMAN, D.F. Mechanisms of Resistance in Soybean (*Glycine max* [L.] Merrill) genotype PI 171444 to the Southern Green Stink Bug, *Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae). **Environmental Entomology**, Annapolis, v.13, n.5, p.1208-1215, 1984.

KIMURA, S. Yeast-spot disease of soybean [*Glycine max*] caused by *Eremothecium coryli* (Peglion) kurtzman in Japan. **Japanese Journal of Phytopathology**, Tokyo, v. 73, n. 4, p. 283-288, 2007.

LARA, F.M. **Princípios de resistência de plantas a insetos**. 2 ed. São Paulo: Ícone, 1991. 336p.

LOPES, E.C.A.; DESTRO, D.; MONTALVÁN, R.; VENTURA, M.U.; GUERRA, E.P. Genetic gain and correlations among traits for stink bug resistance in soybeans. **Euphytica**, Dordrecht, v. 97, n. 2, p.161-166, 1997.

MIRANDA, M.A.C.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, F.T.S.; UNEDA, S.H.; LOURENÇÃO, A.L.; ITO, M.F. IAC-23 e IAC-24: cultivares de soja resistentes a insetos para o estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBMP, 2001. p. 12.

MIRANDA, M.A.C.; LOURENÇÃO, A.L. Melhoramento genético da soja para a resistência a insetos: uma realidade para aumentar a eficiência do controle integrado de pragas e viabilizar a soja orgânica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA E MERCOSOJA, 2., 2002, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa-Soja, 2002. p. 52-60.

MISSÃO, M.R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Revista de Ciências Empresariais**, Umuarama, v. 3, n.1, p.7-15, 2006.

MUSSER, F.R.; CATCHOT, A.L. Mississippi soybean insect losses. *Midsouth Entomol.* **Midsouth Entomologist**, Mississippi, v. 1, p. 29-36, 2008.

MUSSER, F.R. CATCHOT, A.L.; GIBSON, B.K.; KNIGHTEN, K.S. Economic injury levels for southern green stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) in R7 growth stage soybeans. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 30, n. 1, p. 63-69, 2011.

MUSSER, F.R.; LORENZ, G.M.; STEWART, S.D.; CATCHOT, JR, L. Soybean Insect Losses for Mississippi, Tennessee, and Arkansas. **Midsouth Entomologist**, Mississippi, v. 4, p. 22-28, 2010.

PANIZZI, A.R.; SLANSKY, F. Review of phytophagous pentatomids (Hemiptera: Pentatomidae) associated with soybean in the Americas. **The Florida Entomologist**, Lutz, v. 68, n. 1, p.184-214, 1985.

PANIZZI, A.R. Ecologia nutricional de insetos sugadores de sementes. In: Panizzi, A.R.; PARRA, J.R.P. (Eds) **Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas**. Brasília: Manole, 1991. cap. 7, p. 253–287.

PANIZZI, A.R.; BUENO, A.F.; SILVA, F. A.C. Insetos que atacam vagens e grãos. In: HOFFMANN-CAMPO, C.B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. **Soja manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. cap. 5, p. 335-420.

PANIZZI, A.R.; SILVA, F.A.C. Insetos sugadores de sementes (Heteroptera). In: PANIZZI, A.R.; PARRA, J.R.P. (Ed.). **Bioecologia e nutrição de insetos**. Brasília: Embrapa, 2009. cap. 12, p 465–522.

PINHEIRO, J.B. **Dialelo parcial entre parentais de soja resistentes e suscetíveis a insetos**. 1993. 143p. Dissertação (Mestrado Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

PIUBELLI, G.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; MOSCARDI, F.; MIYAKUBO, S.H.; DE OLIVEIRA, M.C. Are chemical compounds important for soybean resistance to *Anticarsia gemmatilis*? **Journal of Chemical Ecology**, Verlag, v. 31, n. 7, p. 1509–1524, 2005.

QUIRINO, R.J. **Consequências na Armazenagem da soja devido ao Ataque de Percevejos nas Lavouras de Soja**, 2012. Disponível em:

<<http://www.cbsoja.com.br/anais/palestras/JoseRonaldoQuirino.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2014.

RAMOS, C. A **Potencialidade da Soja na Economia Brasileira**, 2013. Disponível em: < <http://www.jornalestrondo.com.br/a-potencialidade-da-soja-na-economia-brasileira/>>. Acesso em: 26 jan. 2015.

RECTOR, B.G.; ALL, J.N.; PARROTT, W.A.; BOERMA, H.R. Quantitative trait loci for antibiosis resistance to corn earworm in soybean. **Crop Science**, Madison, v.40, n.1, p.233-238, 2000.

ROGGIA, S.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; BUENO, A.F.; ALVES, J.B. Efeito de inseticidas reguladores de crescimento sobre a sobrevivência, desempenho reprodutivo e atividade alimentar do percevejo marrom da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 32., 2011. São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2011. Resumo 44.

ROSSETTO, C.J.; GALLO, P.B.; RAZERA, L.F.; BORTOLETTO, N.; IGUE, T.; MEDINA, P.F.; TISSELI FILHO, O.; AQUILERA, V.; VEIGA, R.F.A.; PINHEIRO, J.B. Mechanisms of resistance to stink bug complex in the soybean cultivar IAC-100. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 24, n. 3, p. 517-522, 1995.

ROSSETTO, C.J. Breeding for resistance to stink bugs, In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4., 1989. Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: Asociacion Argentina de la Soja Press, 1989. v. 4, p. 2046-2060.

ROSSETTO, C.J. **Resistência de plantas a insetos**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1973. 171p.

ROSSETTO, C.J.; IGUE, T.; MIRANDA, M.A.C.; LOURENÇÃO, A.L. Resistência de soja a insetos: VI. Comportamento de genótipos em relação a percevejos. **Bragantia**, Campinas, v.45, n. 2, p.323-335, 1986.

ROSSETTO, C.J.; LARA, F.M. Diluição de dano, mecanismo de pseudoresistência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 13, 1991, Recife. **Resumos...** Recife: Sociedade Entomológica do Brasil, 1991. p. 525.

ROSSETTO, C.J.; LOURENÇÃO, A.L. Picadas de alimentação de *Nezara viridula* em cultivares e linhagens de soja de diferentes graus de suscetibilidade. **Bragantia**, Campinas, v.40, n.1, p.109-114, 1981b.

ROSSETTO, C.J.; NAGAI, V.; IGUE, T.; ROSSETTO, D.; MIRANDA, M.A.C. Preferência de alimentação de adultos de *Diabrotica speciosa* (Germar) e *Cerotoma arcuata* (Oliv.) em variedades de soja. **Bragantia**, Campinas, v.40, n.1, p. 179-183, 1981.

RUSSIN, J.; ORR, D.B.; LAYTON, M.B.; BOETHEL, D.J. Incidence of microorganisms in soybean seeds damaged by stink bug feeding. **Phytopathology**, Saint Paul, v.78, n.3, p.306-310, 1988.

SILVA, J.P.G.F.; BALDIN, E.L.L.; SOUZA, E.S.; CANASSA, V.F.; LOURENÇO, A.L. Characterization of antibiosis to the redbanded stink bug *Piezodorus guildinii* (Hemiptera: Pentatomidae) in soybean entries. **Journal of Pest Science**, Berlin, v. 86, n.4, p. 649-657, 2013.

SMITH, C.M. **Plant resistance to arthropods molecular and conventional approaches**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2005. 423p.

SOSA-GÓMEZ, D.R.; MOSCARDI, F. Retenção foliar diferencial em soja provocada por percevejos (Heteroptera: Pentatomidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.24, n.2, p.401-404, 1995.

SOUZA, E.S.; BALDIN, E.L.P.; SILVA, J.P.G.F.; LOURENÇO, A.L. Feeding preference of *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae) and attractiveness of soybean genotypes. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v.73, n.4, p. 351-357, 2013.

TEMPLE, J.H.; DAVIS, J.A.; MICINSKI, S.; HARDKE, J.T.; PRICE, P.; LEONARD, B.R. Species Composition and Seasonal Abundance of Stink Bugs (Hemiptera: Pentatomidae) in Louisiana Soybean. **Environmental Entomology**, Annapolis, v. 42, n. 4, p. 648-657, 2013a.

TEMPLE, J.H.; DAVIS, J.A.; HARDKE, J.T.; MOORE, J.; LEONARD, B.R. Susceptibility of Southern Green Stink Bug and Redbanded Stink Bug to Insecticides in Soybean Field Experiments and Laboratory Bioassays. **Southwestern Entomologist**, Washington, v. 38, n. 3, p. 393-406, 2013b.

TURNIPSEED, S.G.; KOGAN, M. Soybean entomology. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 21, n. 1, p. 247-282, 1976.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **World Agricultural Supply and Demand Estimates WASDE-537 - January 12, 2015**. Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2015.

VEIGA, R.F.A.; ROSSETO, C.J.; RAZERA, L.F.; GALLO, P.B.; BORTOLETO, N.; MEDINA, P.F.; TISSELLI FILHO, O.; CIONE J. **Caracterização morfológica e agrônômica do cultivar de soja IAC-100**. São Paulo: Instituto Agrônômico de Campinas, 1999. 23p. (Boletim Técnico, 177).

VENTURA, M.U.; PINHEIRO, J.B. Resistência a insetos. In: DESTRO, D.; MONTALVÁN, R. (Ed.) **Melhoramento genético de plantas**. Londrina: UEL, 1999. p.465-514.

VERNETTI, F.J.; VERNETTI JUNIOR, F.J. **Genética da soja Caracteres Qualitativos e Diversidade Genética**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 221p.

WOJCIECHOWSKI, M.F.; MAHN, J.; JONES, B. Fabaceae - Legumes. **The Tree of Life Web Project**, v.14, 2006. Disponível em: <<http://tolweb.org/Fabaceae/21093/2006.06.14>>. Acesso em: 12 ago. 2012.

2 CRITÉRIO EFETIVO DE SELEÇÃO PARA AVALIAR A RESISTÊNCIA AO COMPLEXO DE PERCEVEJOS EM SOJA

Resumo

A seleção de plantas com resistência ao complexo de percevejos é feita atualmente com base em métodos laboriosos, o que limita a avaliação de um grande número de genótipos. Assim, este trabalho propôs uma nova alternativa para a seleção de genótipos resistentes, em condição de campo com infestação natural: o peso de sementes boas (PSB). Para isto, 24 genótipos de soja foram avaliados sob dois sistemas de manejo: com controle químico sistemático de insetos (manejo I), e sem nenhum controle (manejo II). Diferentes índices foram estimados utilizando o peso de grãos (Y_p) do manejo I e o PSB do manejo II (Y_s). A alta correlação entre Y_s e os índices produtividade média, tolerância ao estresse e média geométrica, aliada à concordância na determinação dos grupos de genótipos com resistência e alto rendimento indicam que a PSB é um caráter útil na seleção simultânea para estas características.

Palavras-chave: *Glycine max*; *Nezara viridula*; *Piezodorus guildinii*; *Euschistus heros*

Abstract

Plant selection for stink bug resistance is currently done using laborious methods which impede the evaluation of large numbers of genotypes. Thus, this paper proposes a new approach to select resistant genotypes on the basis of the good seed weight (GSW) under field conditions with natural infestation. In this way, 24 soybean genotypes were evaluated by using two management systems: one with systematic chemical control of insects (management I) and one without chemical control (management II). Different indexes were estimated by using the grain weight (Y_p) from management I and GSW from management II (Y_s). The high correlation between Y_s and the indexes average productivity, stress tolerance and geometric mean, and the agreement in determining the groups with resistant genotypes and high yield indicates that GSW is useful for the simultaneous selection of these traits.

Keywords: *Glycine max*; *Nezara viridula*; *Piezodorus guildii*; *Euschistus heros*

2.1 Introdução

A soja é uma leguminosa de notável importância mundial, porém, sua produção pode ser acometida por uma série de estresses tanto bióticos como abióticos. Neste panorama, os insetos são importantes pragas, causando tanto danos diretos (quando atacam estruturas vegetais que serão comercializadas) quanto indiretos às culturas, e também podem atuar na transmissão de patógenos (GALLO et al., 2002).

Os pentatomídeos fitófagos (percevejos sugadores) estão entre as principais pragas que atacam a soja (GODOI; PINHEIRO 2009; GUEDES et al., 2012). Conhecidos como complexo de percevejos, as espécies *Nezara viridula* (L.), *Piezodorus guildinii* (West.) e *Euschistus heros* (Fabr.) ocorrem principalmente na fase de formação e maturação de vagens (GODOI et al., 2002; PANIZZI; SLANSKY-JUNIOR, 1985). Os danos são causados principalmente por ninfas maiores, de 3º a 5º instares, e por adultos que se alimentam diretamente das sementes de soja, perfurando as vagens e extraindo os nutrientes da semente com o seu aparelho bucal picador/sugador (MCPHERSON; MCPHERSON, 2000), ocasionando perdas tanto no rendimento como na qualidade das sementes. A maturação da planta também pode ser atrasada quando as sementes são expressivamente injuriadas (LEONARD et al., 2011).

Na busca de amenizar os efeitos destes insetos-praga nas lavouras, intensivas aplicações de inseticidas têm sido utilizadas. No entanto, este método de controle é nocivo ao meio ambiente, deixando resíduos e ocasionando a seleção de populações resistentes (MAIA et al., 2009). Verificou-se em 2000 a diminuição da suscetibilidade de *Euschistus heros* (Fabr.), coletados no Estado de São Paulo, ao inseticida metamidofós (SOSA-GÓMEZ; CORSO e MORALES, 2001); e mais recentemente foi observado crescimento no número de genótipos resistentes no Estado do Paraná (SOSA-GÓMEZ e SILVA, 2010). Além disso, o cenário brasileiro atual é de redução do número de ingredientes ativos disponíveis no mercado, proibição de alguns inseticidas organofosforados, falta de inovação e de lançamento de novos inseticidas (GUEDES et al., 2012).

Assim, o desenvolvimento de cultivares de soja resistentes ao complexo de percevejos é de grande valia para a manutenção e/ou elevação dos patamares de produtividade desta cultura. Porém, as estratégias atualmente utilizadas, como o índice percentual de danos nas vagens (ROSSETTO et al., 1986; NAGAI; ROSSETTO e LOURENÇÃO, 1987) e porcentagem de sementes manchadas (HOFFMANN-CAMPO et al., 1988) para a seleção de genótipos resistentes são extremamente trabalhosos, o que limita a avaliação de um grande número de genótipos e sem a garantia de selecionar aqueles mais produtivos. Assim, o presente estudo objetivou mostrar por meio de índices de resistência que o peso de sementes boas pode ser empregado como alternativa para a seleção de genótipos de soja resistentes ao complexo de percevejos e com alto potencial produtivo.

2.2 Material e Métodos

Este trabalho foi conduzido durante o ano agrícola de 2011/12 no município de Piracicaba, SP, Estação Experimental Anhumas. A reação à resistência de 24 genótipos de soja (dentre estes duas cultivares transgênicas) ao complexo de percevejo foi avaliada em dois experimentos, arranjos em delineamento de blocos casualizados com cinco repetições, sob dois sistemas de manejo: com controle químico de insetos (manejo I), e sem nenhum controle (manejo II). Dentre os genótipos avaliados, a cultivar IAC-100, desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas, tem resistência moderada conhecida à insetos sugadores (complexo de percevejo) e mastigadores (lagartas e coleópteros) (VEIGA et al., 1999). Além desta cultivar, as linhagens LQ também são resistentes aos percevejos sugadores das vagens.

No manejo I, foram realizadas cinco pulverizações sistemáticas e preventivas e no manejo II nenhum controle de insetos foi realizado. As parcelas experimentais foram compostas de quatro linhas com 5 metros de comprimento, espaçadas em 0,5 m. A amostragem de insetos na área experimental foi acompanhada pelo método do pano de batida (dois metros de fileira), sendo feitas 20 batidas por experimento por dia de avaliação. Os caracteres avaliados foram: produtividade de grãos (PG) e o peso sementes boas (PSB), ambos em kg parcela⁻¹. O PSB foi obtido após o descarte dos grãos chochos, verdes e mal formados, com a utilização de uma espiral, a qual separa as sementes com ação das forças da gravidade e centrífuga.

Para avaliar a resistência dos genótipos ao complexo de percevejos diferentes índices foram utilizados, empregando-se a PG do manejo I, considerado como o rendimento potencial do genótipo (Y_p), ou seja, a produtividade na ausência do estresse (dano por percevejo), e a PSB do manejo II, representando o rendimento dos genótipos na condição de estresse (Y_s).

Os índices de resistência dos genótipos ao complexo de percevejos foram estimados de acordo com as equações apresentadas por Fernandez (1992):

Índice de suscetibilidade ao estresse (SSI) (eq.1):

(1)

$$SSI_i = \frac{1 - \left(\frac{Y_{Si}}{Y_{Pi}} \right)}{1 - \left(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P} \right)}$$

Índice de tolerância (TOL) (eq. 2):

(2)

$$TOL_i = Y_{Pi} - Y_{Si}$$

Índice de produtividade média (MP) (eq. 3):

(3)

$$MP_i = \frac{Y_{Si} + Y_{Pi}}{2}$$

Índice de tolerância ao estresse (STI) (eq. 4):

(4)

$$STI_i = \frac{Y_{Si} \times Y_{Pi}}{\bar{Y}_P^2}$$

Índice de média geométrica (GMP) (eq. 5):

(5)

$$GMP_i = \sqrt[2]{Y_{Pi} \times Y_{Si}}$$

Onde Y_{Si} representa o rendimento do i-ésimo genótipo sob estresse (PSB do manejo II), Y_{Pi} o rendimento potencial do i-ésimo genótipo na ausência do estresse (PG do manejo I), $\bar{Y}_S$ e $\bar{Y}_P$ as médias dos genótipos sob estresse e na ausência, respectivamente.

Foram realizadas as análises de variância individuais, teste F e correlação de Pearson para os caracteres Y_S , Y_P e para os índices estimados a partir destes. Quando detectadas diferenças significativas pelo teste F, foram realizados testes de médias entre níveis de tratamentos (Scott-Knott ao nível de 0,05 probabilidade).

2.3 Resultados e Discussão

No experimento sem controle químico de insetos, houve aumento expressivo da população de percevejos no final do ciclo da cultura (Figura 1), o que pode ser justificado pela presença de vagens nas plantas, que tem relação direta com a presença de percevejos na cultura, e pela migração de insetos de áreas vizinhas já colhidas (PANIZZI et al., 2000). O número médio de percevejos variou de 0 a 1 no experimento com controle químico de insetos (manejo I), e chegou a 13 no manejo II. De acordo com Corrêa-Ferreira e Panizzi (1999) o controle deve ser efetuado quando a população atinge quatro percevejos (adultos ou ninfas a partir do terceiro instar) por pano de batida (dois metros de fileira). Dessa forma, a infestação de percevejos no manejo II foi alta o suficiente para avaliar a reação dos genótipos, permitindo a discriminação dos mesmos.

Figura 1 – Número médio de percevejos por amostragem em dois experimentos: manejo I (com controle químico de insetos) e manejo II (sem nenhum controle de insetos) durante o período compreendido entre os estágios reprodutivos R₃ e R₈ dos genótipos de soja avaliados

A análise de variância para o rendimento potencial de grãos (Y_{Pi}), peso de sementes boas (Y_{Si}) e os índices estimados a partir destes (Tabela 1), evidencia a variabilidade entre os genótipos, permitindo que sejam identificados aqueles com capacidade de suportar o ataque de percevejos. Os valores do coeficiente de variação (CV) estiveram entre 19,88 e 51,27%. Valores elevados de CV podem ser

explicados uma vez que alguns genótipos são mais afetados do que outros pelo ataque dos percevejos.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância para Y_s , Y_p e índices de resistência da soja ao complexo de percevejos estimados a partir destes, para 24 genótipos, avaliados sob dois sistemas de manejo: com controle químico sistemático de insetos (manejo I), e sem nenhum controle (manejo II)

Controle (manejo 1)				
Variável	Genótipo	Erro	CV (%)	Média
	GL			
	23	92		
Quadrados Médios				
Y_P	0,0485*	0,0239	21,31	0,7254
Y_S	0,0808*	0,0125	44,01	0,2544
SSI	0,4590*	0,1096	33,93	0,9756
TOL	0,1095*	0,0349	39,68	0,4709
MP	0,0373*	0,0094	19,88	0,4899
STI	0,1935*	0,0332	51,27	0,3553
GMP	0,0620*	0,0110	25,81	0,4077

Y_s : rendimento do genótipo (kg parcela⁻¹) na condição de estresse (manejo II – nenhum controle de insetos);

Y_p : rendimento do genótipo (kg parcela⁻¹) na ausência de estresse (manejo I – com controle químico de insetos);

SSI: índice de suscetibilidade ao estresse; TOL: índice de tolerância ao estresse; MP: índice de média aritmética; STI: índice de estresse; GMP: índice de média geométrica

* $P < 0,01$

Entre todos os genótipos avaliados, BRS 133, BRS Invernada, LQ1043, LQ1194, LQ1413, LQ1421, LQ1505, JAB 00-05-6/763D e JAB 00-02-2/2J3D mostraram os maiores rendimento na ausência do estresse (manejo I) (Tabela 2), enquanto que na presença (manejo II) os genótipos com maiores valores de Y_s foram BRS 133, LQ1050, LQ1421 e LQ1505. Estes resultados mostram que a seleção de genótipos mais produtivos não garante que aqueles de maior resistência sejam identificados. Este é o caso dos genótipos BRS Invernada, LQ1043, LQ1194, LQ1413, JAB 00-05-6/763D e JAB 00-02-2/2J3D, que apesar de terem apresentado altos potenciais produtivos, se mostraram extremamente sensíveis ao estresse, apresentando redução dos valores de Y_s (Tabela 2).

Considerando-se a variável SSI pode ser observado a formação de três grupos de médias. Por este índice LQ1050 é classificado como o genótipo mais resistente ao complexo de percevejos (Tabela 2). Já pelo índice TOL, além da LQ1050, os genótipos BRS 133, LQ1421, LQ1505, LQ1402, LQ1504, IAC-100, LQ1519, L1-1-55, IAC-23, LQ1078, IAC-17, BMX Potência RR mostraram capacidade superior de resistir ao ataque de percevejos em relação aos demais

genótipos avaliados. A cultivar de soja IAC-100 é caracterizada como resistente ao complexo de percevejos, apresentando pelo menos cinco mecanismos: menor período de granação, maior número de sementes, rejeição de vagens danificadas e substituição por novas, senescência normal com queda das folhas na maturação e resistência a levedura *Eremothecium coryli* (Peglion) (ROSSETTO et al. 1995). As linhagens LQs avaliadas são descendentes de IAC-100, logo, o agrupamento destas era esperado.

Tabela 2 – Rendimento médio de genótipos de soja na ausência (Y_p) (manejo I: controle químico sistemático de insetos) e presença de estresse (Y_s) (manejo II: sem nenhum controle de insetos), e diferentes índices de resistência da soja ao complexo de percevejo⁽¹⁾

Genótipo	Y_s	Y_p	SSI	TOL	MP	STI	GMP
BRS 133	0,52 a	0,82 a	0,54 b	0,30 b	0,67 a	0,81 a	0,64 a
IAC-100	0,37 b	0,63 b	0,59 b	0,26 b	0,50 b	0,43 c	0,47 b
IAC-17	0,20 c	0,67 b	1,05 a	0,46 b	0,44 b	0,26 d	0,37 c
IAC-23	0,21 c	0,51 b	0,90 b	0,29 b	0,36 b	0,21 d	0,33 c
IAC-24	0,10 c	0,65 b	1,31 a	0,55 a	0,37 b	0,12 d	0,24 c
BRS Invernada	0,18 c	0,84 a	1,20 a	0,66 a	0,51 b	0,29 d	0,38 c
L1-1-55	0,27 c	0,67 b	0,88 b	0,40 b	0,47 b	0,35 c	0,41 c
LQ1043	0,21 c	0,86 a	1,14 a	0,64 a	0,53 b	0,33 c	0,41 c
LQ1050	0,47 a	0,65 b	0,13 c	0,18 b	0,56 a	0,58 b	0,54 b
LQ1078	0,21 c	0,64 b	0,94 b	0,42 b	0,43 b	0,24 d	0,34 c
LQ1119	0,14 c	0,74 b	1,26 a	0,60 a	0,44 b	0,20 d	0,31 c
LQ1124	0,12 c	0,73 b	1,30 a	0,61 a	0,43 b	0,17 d	0,29 c
LQ1188	0,15 c	0,69 b	1,21 a	0,54 a	0,42 b	0,19 d	0,32 c
LQ1194	0,20 c	0,84 a	1,18 a	0,64 a	0,52 b	0,33 c	0,41 c
LQ1402	0,31 b	0,69 b	0,84 b	0,38 b	0,50 b	0,41 c	0,45 b
LQ1413	0,31 b	0,85 a	0,96 b	0,53 a	0,58 a	0,50 b	0,51 b
LQ1421	0,47 a	0,86 a	0,66 b	0,38 b	0,67 a	0,76 a	0,60 a
LQ1504	0,34 b	0,65 b	0,76 b	0,30 b	0,50 b	0,45 c	0,46 b
LQ1505	0,44 a	0,87 a	0,77 b	0,43 b	0,65 a	0,72 a	0,61 a
LQ1519	0,31 b	0,67 b	0,81 b	0,35 b	0,49 b	0,40 c	0,46 b
BMX Potência RR	0,20 c	0,64 b	1,06 a	0,44 b	0,42 b	0,26 d	0,35 c
JAB 00-05-6/763D	0,12 c	0,76 a	1,31 a	0,64 a	0,44 b	0,17 d	0,29 c
JAB 00-02-2/2J3D	0,12 c	0,84 a	1,33 a	0,73 a	0,48 b	0,18 d	0,30 c
V-MAX RR	0,13 c	0,67 b	1,26 a	0,55 a	0,40 b	0,17 d	0,29 c

Y_s : rendimento do genótipo (kg parcela⁻¹) na condição de estresse (manejo II – nenhum controle de insetos); Y_p : rendimento do genótipo (kg parcela⁻¹) na ausência de estresse (manejo I – com controle químico de insetos); SSI: índice de suscetibilidade ao estresse; TOL: índice de tolerância ao estresse; MP: índice de média aritmética; STI: índice de estresse; GMP: índice de média geométrica.

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra na coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$)

Porém, ambos os índices, SSI e TOL, podem favorecer a seleção de genótipos com elevados valores sob as condições de estresse, mas com baixo rendimento potencial na ausência do mesmo (FERNANDEZ, 1992). Como é o caso da LQ1050, que pelos dois índices foi classificada como resistente, porém, não está no grupo de maiores valores para Y_p . Estes índices consideram uma proporção (SSI) ou uma diferença (TOL) entre os valores de Y_s e Y_p , logo, quanto menor a amplitude entre estes, maior a resistência do genótipo. Desta forma, quando um genótipo for pouco produtivo na ausência do estresse, e mantiver estes patamares na presença do mesmo, a diferença entre os rendimentos será reduzida, e o genótipo será considerado resistente.

Pelo índice MP os genótipos BRS 133, LQ1421, LQ1050, LQ1413, LQ1421 e LQ1505 mostraram o melhor desempenho. Pelos índices STI e GMP, os genótipos BRS 133, LQ1421, e LQ1505 destacaram-se. A seleção com base nestes índices favorece genótipos com alto rendimento nas duas condições de cultivo (ABARSHAHR; RABIERI e SAMIZADEH, 2011). Contudo, GMP é menos sensível a presença de valores extremos (Y_s e Y_p amplamente discrepantes), o que faz com que este índice seja mais propício para a separação de grupos de genótipos (FERNANDEZ, 1992). Segundo Talebi; Fayaz e Naji, (2009) a correlação entre GMP e STI é aproximadamente um, resultado análogo foi encontrado neste estudo (0,98). Isto justifica o agrupamento dos mesmos genótipos por ambos os índices.

Valores altos e significativos de correlação foram encontrados considerando-se Y_s e os demais índices (Tabela 3). As correlações de Y_s com SSI e TOL foram negativas, uma vez que valores maiores de Y_s dão indicativo de genótipos com maior capacidade de suportar o ataque dos insetos, enquanto que para TOL e SSI os maiores valores indicam maior suscetibilidade do genótipo.

De modo contrário, as correlações de Y_s com MP, STI e GMP foram positivas, já que valores maiores de Y_s e destes índices indicam a maior resistência do genótipo (Tabela 3). As correlações elevadas de Y_s com estes índices mostram que Y_s pode ser utilizado como parâmetro eficiente na seleção de genótipos com resistência ao complexo de percevejos, e que apresentam alta produtividade na presença ou ausência do estresse. A seleção de genótipos com este desempenho é reconhecidamente um desafio para os melhoristas de plantas, enquanto que o

rendimento em ambientes favoráveis tem sido incrementado substancialmente (RICHARDS et al., 2002).

Tabela 3 – Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre o rendimento dos genótipos na condição de estresse (Y_s) (manejo II: sem nenhum controle de insetos) e os índices de resistência ao estresse (dano por percevejo)

	SSI	TOL	MP	STI	GMP
Y_s	-0,8281	-0,6574	0,7244	0,9294	0,9234
Prob	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

SSI: índice de suscetibilidade ao estresse; TOL: índice de tolerância ao estresse; MP: índice de média aritmética; STI: índice de estresse; GMP: índice de média geométrica

Os genótipos selecionados com base em Y_s ou nos índices MP, SSI e GMP concordam com alguma adição ou exclusão. Pela facilidade da estimativa de Y_s , na condição de estresse, a seleção com base neste parâmetro facilita a avaliação para um número elevado de genótipos, possibilita incremento no número de repetições e de locais de condução de experimentos, e não se tem a necessidade de condução dos diferentes tipos de manejo (com e sem controle de insetos). Além disso, os resultados obtidos indicam que PSB é um caráter útil na seleção simultânea para alta produtividade de grãos e resistência ao complexo de percevejos. Fato este de suma importância, já que uma nova cultivar com resistência somente será adotada pelos agricultores caso também apresentar elevado potencial produtivo na presença ou não do ataque de percevejos. Além do mais, a resistência de plantas é uma característica de grande interesse pois não representa ônus para adoção, sendo ainda uma estratégia compatível com as outras formas de controle de insetos.

2.4 Conclusões

A correlação entre o PSB (peso de sementes boas) e os índices produtividade média (MP), tolerância ao estresse (STI) e média geométrica (GMP) comprova que este é um caráter eficiente para a seleção simultânea de genótipos resistentes com alto rendimento na presença ou ausência de percevejos.

O PSB permite que sejam avaliados um grande número de genótipos, já que o processo de avaliação é mais eficiente do que o índice percentual de danos nas vagens e a porcentagem de sementes manchadas, usualmente empregados.

Referências

- ABARSHAHR, M.; RABIEI, B.; SAMIZADEH, H.L. Assessing Genetic Diversity of Rice Varieties under Drought Stress. **Notulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca, v. 3, n. 1, p. 114-123, 2011.
- CORREIA-FERREIRA, B.S.; PANIZZI, A.R. **Percevejos da soja e seu manejo**. Londrina:EMBRAPA-CNPSo, 1999. 45p.
- FERNANDEZ, G.C.J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: KUO C.G. (Ed.). **Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress**. Tainan: AVRDC Publication, 1992. p. 257-270.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA, NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIN, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTO, C. **Entomologia grícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920p.
- GODOI, C.R.C.; PEREIRA, F.S.; UMENO, F.; ÁZARA, N.A.; LIMA, P.M.S.; SILVA, R.P.; OLIVEIRA, A.B.; ARAÚJO, I.M.; ZUCCHI, M.I.; PINHEIRO, J.B. Resistência a insetos em populações de soja com diferentes proporções gênicas de genitores resistentes. **Revista Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 47-55, 2002.
- GODOI, C.R.C.; PINHEIRO, J.B. Genetic parameters and selection strategies of soybean genotypes resistant to stink bug complex. **Genetics and Molecular Biology**. Ribeirão Preto, v. 32, n. 2, p. 328-336, 2009.
- GUEDES, J.V.C.; ARNEMANN, J.A.; STÜRMER, G.R.; MELO, A.A.; BIGOLIN, M.; PERINI, C.R.; SARI, B.G. Percevejos da soja: novos cenários, novo manejo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 127, n. 1, p. 24-30, 2012.
- HOFFMANN-CAMPO, C.B.; MARTINS, C.S.; TOLEDO, J.F.F.; KIIHL, R.A.S.; MAZZARIN, R.M.; OLIVEIRA, M.C.N. Estudos de metodologia para avaliação de linhagens de soja resistentes a insetos-pragas. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Centro Nacional de pesquisa da soja (Ed.). **Resultados de Pesquisa da Soja 1986/87**. Londrina:Embrapa-CNPSo, 1988. p. 93-102.
- LEONARD, B.R.; BOQUET, D.J.; PADGETT, B.; DAVIS, J.A.; SCHNEIDER, R.; GRIFFIN, J.L.; VALVERDE, R.A.; LEVY, J.R. Soybean green plant malady contributing factors and mitigation. **Louisiana Agriculture Magazine**, Baton Rouge, v. 54, n. 1, p. 32-34, 2011.
- MAIA, M.C.C.; VELLO, N.A.; ROCHA, M.M.; FONSECA, JÚNIOR, N.S.; LAVORANTE, O.J.; PINHEIRO, J.B.; DIAS, C.T.S.; ASSIS, G.M.L. Seleção de linhagens experimentais de soja para características agrônômicas e tolerância a insetos. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 85-97, 2009.

MCPHERSON, J.E.; MCPHERSON, R.M. **Stink bugs of economic importance in America north of Mexico**. Boca Raton: CRC, 2000. 272p.

NAGAI, V.; ROSSETTO, C.J.; LOURENÇÃO, A.L. Resistência de soja a insetos: IX. Amostragem para avaliação de dano de percevejo. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 2, p. 365-370, 1987.

PANIZZI, A.R.; SLANSKY JÚNIOR, F. Review of phytophagous pentatomids (Hemiptera: Pentatomidae) associated with soybean in the Americas. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 68 n. 1, p. 184-214, 1985.

PANIZZI, A.R.; MCPHERSON, J.E.; JAMES, D.G.; JAVAHERY, M.; MCPHERSON, R.M. Stink bugs (Pentatomidae). In: SCHAEFER, C.W.; PANIZZI, A.R. (Ed.). **Heteroptera of economic importance**. Boca Raton: CRC, 2000. p. 432-434.

RICHARDS, R.A.; REBETZKE, G.J.; CONDON, A.G.; HERWAARDEN, A.F. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. **Crop Science**, Madison, v. 42, n. 1, p. 111-121, 2002.

ROSSETTO, C.J.; IGUE, T.; MIRANDA, M.A.C.; LOURENÇÃO, A.L. Resistência de soja a insetos: VI. Comportamento de genótipos em relação a percevejos. **Bragantia**, Campinas, v. 45, n. 2, p. 323-335, 1986.

ROSSETTO, C.J.; GALLO, P.B.; RAZERA, L.F.; BORTOLETTO, N.; IGUE, T.; MEDINA, P.F.; TISSELI, FILHO, O.; AQUILERA, V.; VEIGA, R.F.A.; PINHEIRO, J.B. Mechanisms of resistance to stink bug complex in the soybean cultivar IAC-100. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 517-522, 1995.

SOSA-GÓMEZ, D.R.; CORSO, I.C.; MORALES, L. Insecticide resistance to endosulfan, monocrotophos and metamidophos in the neotropical brown stink bug, *Euschistus heros* (F.). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 317-320, 2001.

SOSA-GÓMEZ, D.R.; SILVA, J.J. Neotropical brown stink bug (*Euschistus heros*) resistance to methamidophos in Paraná, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 767-769, 2010.

TALEBI, R.; FAYAZ, F.; NAJI, A.M. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). **General and Applied Plant Physiology**, Sofia, v. 35 n. 1, p. 64-74, 2009.

VEIGA, R.F.A.; ROSSETTO, C.J.; RAZERA, L.F.; GALLO, P.B.; BORTOLETO, N.; MEDINA, P.F.; TISSELLI, FILHO, O.; CIONE, J. **Caracterização morfológica e agrônômica do cultivar de soja IAC-100**. Campinas: IAC, 1999. 23p.

3 SELEÇÃO DE LINHAGENS DE SOJA PARA RESISTÊNCIA AO COMPLEXO DE PERCEVEJOS EM DIFERENTES AMBIENTES

Resumo

Para que a demanda alimentar seja atendida até 2050, é necessário que a atual produção agrícola seja no mínimo dobrada. Almeja-se que este crescimento ocorra em termos de produtividade e não em aumento de área cultivada. No entanto, são muitos os desafios. Na soja, os percevejos sugadores de vagens são considerados como os insetos-praga mais importantes da cultura por se alimentarem diretamente do grão, causando perdas significativas no rendimento e qualidade das sementes. Para o controle, o método químico tem sido amplamente utilizado, o que aumenta os custos de produção e ocasiona danos ambientais. Além disso, já existem relatos de resistência destes insetos a diferentes moléculas químicas, houve a proibição de ingredientes ativos e não há previsão para o lançamento de novas moléculas nesta década. Neste aspecto, os esforços investidos no melhoramento para a resistência devem ser valorizados. Com este foco, 251 linhagens endogâmicas recombinantes (LERs) com alelos de resistência ao complexo de percevejos, obtidas pelo cruzamento de IAC-100 (resistente) com CD-215 (suscetível), foram avaliadas em dois experimentos arranjos em alfa-látice, com três repetições, em Piracicaba nas safras 2012/13 e 2013/14. Os caracteres avaliados foram: número de dias para a maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM), período de granação (PEG), acamamento (AC), valor agrônomo (VA), produtividade de grãos (PG), peso de cem sementes (PCS), retenção foliar (RF) e peso sementes boas (PSB). Os componentes de variância foram estimados pelo método Máxima Verossimilhança Restrita (REML). Os parâmetros de herdabilidade e ganho de seleção (GS) também foram obtidos. A seleção foi efetuada com base na safra 2012/13, considerando aqueles genótipos com PSB mínimo de 2908,26 kg ha⁻¹ para PSB (perdas aceitáveis de 20% em relação à média de PG). A população de insetos foi monitorada pelo pano de batida. Foi possível verificar um aumento de percevejos na fase de granação, sendo que a densidade populacional foi mais alta na safra 2012/13. As estimativas dos componentes de variância mostraram a elevada influência da interação genótipo x ambiente sobre os caracteres PG e PSB, que tiveram as menores estimativas de herdabilidade (23 e 34% respectivamente). O ganho de seleção estimado a partir das médias preditas para PG e PSB foi de 665,4 e 482,4 kg ha⁻¹ safra 2012/13, ou seja, a seleção empregada proporcionou a identificação dos genótipos mais produtivos e com resistência ao complexo de percevejos. Então, a partir dessa população de LERs podem ser extraídas linhagens ou genótipos com potencial para serem disponibilizadas como novas cultivares.

Palavras-chave: *Glycine max*; Herdabilidade; Ganho genético; Resistência de plantas; Percevejos sugadores

Abstract

To reach the food demand expected by 2050, it is necessary that current crop production is at least doubled. This growth must occur in productivity and not in acreage increase and there are many challenges. In soybean, stink bugs are

considered the most important insect pests because feed directly on developing seeds, causing significant losses in yield and seed quality. The widespread use of chemical control increases production costs and causes environmental damage. In addition, there are already insect resistance to different chemical products, certain pesticides were banned and there is no provision for the launch of new chemistries in this decade. In this respect, efforts invested in the improvement of soybean cultivars for resistance should be valued. With this focus 251 recombinant inbred lines (RILs) with alleles conferring resistance to the stink bug complex, obtained by crossing IAC-100 (resistant) with CD-215 (susceptible) were evaluated in two experiments. These were arranged in an alpha-lattice with three replications and were planted in Piracicaba, Brazil, during the 2012/13 and 2013/14 growing seasons. The RILs were evaluated the following characters: number of days to maturity (NDM), plant height at maturity (PHM), grain filling period (GFP), lodging (L), agronomic value (AV), grain yield (GY), 100 seed weight (HSW), leaf retention (LR) and good seeds weight (GSW). Variance components were estimated by Restricted Maximum Likelihood (REML). The parameters of heritability and selection gain (SG) were also calculated. The selection was made based on the 2012/13 crop, considering those genotypes with a minimum GSW of 2908.26 kg ha⁻¹ (acceptable losses of 20% from the average GY). The insect population was monitored by beating plants over a drop cloth. We observed an increase of stink bugs during the grain filling period, and the population density was higher in the 2012/13 season. Estimates of variance components showed a high influence of genotype x environment interaction on GY and GSW, which had the lowest heritability estimates (23 and 34% respectively). The estimated SG from the average predicted for GY and GSW was 665.4 and 482.4 kg ha⁻¹, respectively, in 2012/13 season. This selection method allowed the identification of the most productive genotypes with resistance to stink bugs. From this population of RILs lines with the potential to be released as cultivars can be identified.

Keywords: *Glycine max*; Heritability; Genetic gain; Plant resistance; Sucking bugs

3.1 Introdução

Será que a disponibilidade de alimentos será suficiente para suprir a crescente demanda da população? Este é um dos tópicos atualmente em debate quando se fala em sustentabilidade (ODERGART; VOET, 2014). Estimativas mostram que a produção agrícola precisa apresentar um crescimento global de 100-110%, para que não falte suprimento de alimentos (TILMAN et al., 2012). Segundo Ray et al. (2013) esse crescimento deve ocorrer principalmente pelo aumento da produtividade, e não da área cultivada.

A soja está entre as quatro principais culturas, que juntas produzem cerca de 2/3 das calorias oriundas da agricultura no mundo (RAY et al., 2013) dessa forma, uma produção consistente dessa leguminosa é necessária para que a segurança alimentar possa ser garantida. Neste aspecto o melhoramento desempenha uma

importante função, obtendo genótipos superiores, com produção elevada e adaptados as diferentes adversidades.

Na cultura da soja, são muitos os desafios a serem superados para que taxa global de crescimento de 1,3% seja aumentada para pelo menos 2,4%, que é valor mínimo para que a demanda alimentar até 2050 seja atendida (RAY et al., 2013). Um desses desafios está relacionado ao aumento das pragas que danificam esta oleaginosa, causando danos a produção (BELORTE et al., 2003). Dentre os insetos-praga, os percevejos são considerados os mais importantes. No Brasil, são predominantes três espécies, que compõem o denominado complexo de percevejos: percevejo-verde-pequeno (*Piezodorus guildinii*), percevejo-verde (*Nezara viridula*) e o percevejo-marrom (*Euschistus heros*) (GUEDES et al., 2012). O percevejo-marrom é a espécie predominante nas regiões de cultivo da leguminosa (CORRÊA-FERREIRA; KRZYZANOWSKI; MINAMI, 2009). *P. guildinii*, é uma espécie Neotropical, que pode ser encontrada desde o sul dos Estados Unidos até a Argentina. Esta espécie tem menor importância, por ocorrer em menores densidades, porém, causa o maior dano a soja, que pode ser atribuído a maior área do canal alimentar deste inseto (DEPIERI; PANIZZI, 2010). *N. viridula* tem ocorrência principalmente nos estados Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (HOFFMANN-CAMPO et al., 2000), tendo se expandido também para o Centro-Oeste (WIEST; BARRETO, 2012).

Ninfas maiores, de 3º a 5º instares, e adultos, causam danos diretos e indiretos, irreversíveis ao desenvolvimento das sementes (PANIZZI; SLANSKY, 1985; PRADO et al., 2010). Estes insetos se alimentam diretamente das vagens, inserindo o aparelho bucal sugador, atingindo os grãos (CORRÊA-FERREIRA, 2000). Os principais danos estão relacionados à injeção de enzimas digestivas, que levam a deformação, aborto perdas no poder germinativo e vigor das sementes (OLIVEIRA, 2010). Além disso, ocorrem transmissão de patógenos, como a levedura *Eremothecium coryli*, retardo da maturação fisiológica ou retenção foliar, o que dificulta a colheita mecânica (SILVA et al., 2013; GAZZONI; MOSCARDI, 1998). As perdas causadas por estes insetos podem ser da ordem de até 125 kg ha⁻¹, considerando-se a presença de um percevejo por metro quadrado (GUEDES et al., 2012).

O método químico tem sido o amplamente utilizado para controle destes insetos na cultura da soja (MUSSER; CATCHOY, 2008). Além do custo envolvido, o

uso excessivo tem proporcionado o surgimento de populações resistentes a determinadas moléculas (CORRÊA-FERREIRA et al., 2013), o que requer um maior número de aplicações com inseticidas de amplo espectro (TEMPLE et al., 2009). Porém, o cenário atual é de proibição de algumas moléculas e falta de inovação (GUEDES et al., 2012). Ainda as consequências quanto a poluição ambiental são drásticas. Segundo Hart e Pimentel (2002), apenas 0,1% dos pesticidas aplicados atingem o alvo e 99,9% impactam o ambiente ao redor.

Portanto, o uso de genótipos resistentes passa a ser uma alternativa ou um substituto para o controle químico de insetos (SMITH, 2005), oferecendo uma série de vantagens, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo a identificação de linhagens com resistência ao complexo de percevejos e elevado potencial produtivo.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Obtenção da população

A população F_8 (LERs – linhagens endogâmicas recombinantes) utilizada neste trabalho foi desenvolvida a partir do cruzamento entre IAC-100 (resistente ao complexo de percevejos) e CD-215 (suscetível). As sementes F_1 foram obtidas em 2007/2008, as quais foram semeadas em casa de vegetação. A geração F_2 foi conduzida a campo na safra 2008/2009, resultando em um total de 251 progênies, que foram avançadas até a geração F_8 em casa de vegetação, utilizando o método do descendente de uma única viagem ou SPD.

3.2.2 Experimentos

Os experimentos foram conduzidos em condição de campo, na estação experimental de Anhumas, Piracicaba, São Paulo, do Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP). Na safra 2012/13 o delineamento empregado foi alfa-látice 10 x 25 com três repetições, em um total de 248 LERs e os respectivos genitores. A parcela experimental foi representada por duas linhas de quatro metros de comprimento.

Na safra 2013/2014, foram avaliadas 251 LERs, mais os respectivos genitores, e três testemunhas (BMX Potência, Vmax e BMX Apolo). Os 256 tratamentos foram arrançados em alfa-látice 32 x 8. Cada unidade experimental foi representada por quatro linhas de 5 m.

Nos dois experimentos as fileiras foram espaçadas 0,5 m, contendo 18 sementes por metro linear. A infestação de percevejos foi natural, e a densidade populacional dos insetos foi acompanhada semanalmente pelo método de pano de batida (STÜRMER et al., 2012).

3.2.3 Fenotipagem

A avaliação do desempenho agronômico das linhagens foi feito a partir dos seguintes caracteres:

1. Número de dias para a maturidade (NDM), contados desde a semeadura até a data em que 95% das vagens apresentarem-se maduras;
2. Altura da planta (cm) na maturidade (APM), medida desde a base da planta (no solo) até o ápice da haste principal;
3. Acamamento (AC), avaliado na maturidade por uma escala de notas visuais de 1 a 5, sendo a nota 1 correspondente à planta ereta e a 5 à planta acamada;
4. Valor agronômico (VA), avaliado na maturidade através de uma escala de notas visuais de 1 a 5, sendo a nota 1 correspondente à planta sem nenhum valor agronômico e a nota 5 à planta com excelentes características agronômicas (grande número de vagens, altura superior a 60 cm, vigor, sem acamamento, ausência de hastes verdes e retenção foliar, sem debulha de vagens e sem sintomas de doenças);
5. Produtividade de grãos (PG), avaliado em kg ha^{-1} ;

Foram avaliados ainda quatro caracteres associados à resistência aos insetos:

1. Período de granação (PEG) em dias, obtido pela diferença entre os estágios reprodutivos R7 e R5;
2. Peso de cem sementes (PCS) em g, a partir de uma amostra ao acaso após padronização da umidade.

3. Retenção foliar (RF), sendo a nota zero para plantas com senescência normal e a nota 5, quando as plantas apresentarem várias hastes e folhas verdes (colheita impraticável);
4. Peso de sementes boas (PSB) em kg ha⁻¹, ou seja, sem danos provocados por percevejos, avaliado após a colheita e beneficiamento dos grãos. Para o beneficiamento as sementes foram passadas em um espiral, onde os grãos chochos, verdes e malformados foram separados pela ação das forças da gravidade e centrífuga.

3.2.4 Análise dos dados

Para a análise dos dados, todos os termos do modelo foram considerados aleatórios. Foram estimados: os componentes de variâncias pelo Método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML); diferença mínima significativa, o coeficiente de variação e a herdabilidade, combinando os dois ambientes (safras). As médias genéticas preditas foram estimadas pela soma da média e a estimativa aleatória do efeito de cada genótipo (BLUP - Melhor preditor linear não-viesado).

Os dados foram analisados, pelo PROC MIXED, via *META suite* (VARGAS et al., 2013) no SAS, segundo o seguinte modelo estatístico (eq. 1):

(1)

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + A_j + R_k(A_j) + B_l(A_j R_k) + G_i * A_j + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde:

Y é o valor da observação referente ao genótipo i na repetição k no ambiente j ;

μ é a média do efeito principal;

G_i é o efeito do genótipo i ;

A_j é o efeito do ambiente (safra) j ;

R_k é o efeito da repetição k dentro do ambiente j ;

B_l é o efeito do bloco l dentro do ambiente j dentro da repetição k ;

$G_i * A_j$ é o efeito da interação genótipos x ambientes; e

ε_{ijkl} é o erro ou resíduo aleatório.

A herdabilidade foi estimada com base na média dos genótipos (eq. 2):

(2)

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_{ga}^2}{nAmb} + \frac{\sigma_e^2}{nAmb \times nRep}}$$

Onde:

σ_g^2 , σ_{ga}^2 e σ_e^2 são as variâncias genotípicas, da interação Genótipo x Ambiente e do erro, respectivamente;

$nAmb$ o número de ambientes em que os experimentos foram conduzidos; e

$nRep$ o número de repetições.

A verificação do progresso genético foi efetuada a partir da seleção com base no ambiente alvo – presença de percevejos, ou seja, a verificação do progresso para a safra 2013/14 foi feita com base na seleção dos indivíduos da safra anterior. Essa decisão foi tomada em função da maior densidade populacional de percevejos na safra 2012/13 em relação 2013/14. Ainda, as condições climáticas desta última safra foram atípicas, com presença de elevadas temperaturas e baixa precipitação.

O PSB foi a característica alvo de seleção, usando-se uma a classificação de acordo com ideótipo: assumiu-se para PSB um valor mínimo de 2908,26 kg ha⁻¹. Este valor foi estimado considerando-se um máximo aceitável de perdas de 20% em relação média geral de produtividade dos genótipos no experimento. Apenas o PSB foi considerado para a seleção uma vez que segundo Rocha et al. (2014) este é um caráter útil na seleção simultânea de genótipos com resistência e alto rendimento.

O ganho de seleção (GS) foi estimado pela seguinte expressão (eq. 3):

(3)

$$GS = \bar{X}_S - \bar{X}_O$$

Onde:

$\bar{X}_S$ representa a média predita pelo BLUP das linhagens selecionadas; e

$\bar{X}_O$ as médias preditas pelo BLUP da população original.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 População de percevejos

Em ambos os experimentos pode-se observar o aumento expressivo da população de percevejos no final do ciclo da cultura (Figuras 1 e 2), o que pode ser justificado pela presença de vagens nas plantas, que tem relação direta com a presença de percevejos na cultura, e pela migração de insetos de áreas vizinhas já colhidas (PANIZZI et al., 2000).

O número máximo de percevejos chegou a seis no experimento conduzido na safra 2012/13 (Figura 1) e 3,5 na safra 2013/14 (Figura 2). Nesta última, os valores ficaram abaixo do NDE (nível de dano econômico), já que de acordo com Corrêa-Ferreira e Panizzi (1999) o controle só deve ser efetuado quando a população atinge quatro percevejos (adultos ou ninfas a partir do terceiro instar) por pano de batida (2 m de fileira), considerando a produção de grãos e dois percevejos para lavouras de produção de sementes.

Na safra 2012/13 pode ser observado um elevado aumento do número de insetos por batida de pano a partir do momento em que a maioria dos genótipos entrava em estágio R5. Estágio em que a soja está mais suscetível ao ataque, chamado de período crítico (CORRÊA-FERREIRA e PANIZZI, 1999). Embora os percevejos possam ser identificados na fase vegetativa, é durante o processo de formação da vagem e enchimento de grão que afetam negativamente a qualidade da semente (CORRÊA-FERREIRA et al., 2012). A população de percevejos atingiu seu máximo crescimento no início de março, quando grande parte dos genótipos alcançou a maturação. Na colheita os percevejos dispersam para plantas hospedeiras, e considerando o percevejo marrom, mais tarde para nichos de diapausa (CORRÊA-FERREIRA e PANIZZI, 1999).

Figura 1 – Flutuação populacional de percevejos na área experimental safra 2012/2013 em diferentes estágios fenológicos da soja R3 - R8, avaliado pelo método do pano de batida (2 m de fileira), em genótipos de soja

Na safra de 2013/14 nas duas primeiras avaliações nenhum inseto foi encontrado (Figura 2). O experimento foi instalado nos últimos dias da janela de semeadura, na expectativa de que o número de insetos por pano de batida fosse elevado. Porém, a não existência de soja nas regiões arredores, que poderia favorecer a migração dos percevejos, a seca e as elevadas temperaturas ocorridas durante a safra podem ter interferido no crescimento populacional do inseto.

Figura 2 – Flutuação populacional de percevejos na área experimental safra 2013/2014 em diferentes estágios fenológicos da soja R3 - R8, avaliado pelo método do pano de batida (2 m de fileira), em genótipos de soja

3.3.2 Componentes de Variância e Herdabilidade

Na Tabela 1 estão apresentados os componentes de variância pelo Método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML); diferença mínima significativa, o coeficiente de variação e a herdabilidade, combinando os dois ambientes (safras) para os caracteres APM, NDM, PEG, VA, AC, PG, PSB e PCS. Para a maioria dos caracteres avaliados os valores do coeficiente de variação estiveram abaixo de 20% indicando boa precisão experimental (PIMENTEL-GOMES, 2000).

Quando se usa o modelo aleatório tem-se como foco a estimação dos componentes de variância (Tabela 1), a partir dos quais torna-se possível a estimação de parâmetros genéticos, como a herdabilidade e também o ganho obtido com a seleção. Os componentes da variância fenotípica estimados mostram a elevada influência do ambiente na expressão da maioria das características.

Apenas para APM e RF o efeito genotípico ($\sigma_g^2 = 41,132$ e $0,273$) foi mais elevado que o efeito de ambiente (A) e da interação G x A, respondendo por aproximadamente 30 e 28% de toda a variação, respectivamente; isso indica que para esses caracteres a variabilidade existente entre os genótipos foi mais expressiva que as demais variâncias presentes no modelo.

Tabela 1 – Componentes de variância, média, LSD (diferença mínima significativa), CV (coeficiente de variação) e h^2 (herdabilidade) para os caracteres número de dias para a maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM em cm), período de granação (PEG em dias), acamamento (AC em escala de notas), valor agrônomo (VA em escala de notas), produtividade de grãos (PG em kg ha⁻¹), peso de cem sementes (PCS em g), retenção foliar (RF em escala de nota) e peso sementes boas (PSB em kg ha⁻¹) avaliados em linhagens endogâmicas recombinantes de soja com alelos de resistência ao complexo de percevejos, em dois ambientes

Estatística	APM	NDM	PEG	RF	VA	AC	PG	PSB	PCS
σ_a^2	10,187	43,759	19,798	0,092	0,009	0,564	311513,111	227615,949	2,336
σ_g^2	41,132	20,440	8,613	0,273	0,045	0,069	30662,445	39439,256	2,117
σ_{ga}^2	30,875	8,700	3,203	0,103	0,077	0,043	111196,233	65697,742	0,126
σ_e^2	57,358	15,062	27,754	0,489	0,381	0,337	262668,872	249105,875	0,975
Média	61,685	117,290	35,899	1,826	3,364	1,765	2771,313	2516,049	12,913
LSD	14,347	7,439	7,080	1,046	0,918	0,807	903,984	788,923	1,380
CV	11,809	3,220	10,014	29,104	13,859	23,215	16,562	15,920	5,425
h^2	0,622	0,749	0,580	0,672	0,306	0,471	0,236	0,347	0,904

* σ_a^2 : variância de ambiente; σ_g^2 : variância genotípica; σ_{ga}^2 : variância da interação genótipo x ambiente; e σ_e^2 : variância residual

A variabilidade genotípica para o caráter retenção foliar é de grande importância, uma vez que este está relacionado a resistência da soja ao complexo

de percevejo. São desejados genótipos com escores menores para o caráter. A avaliação da retenção foliar contabiliza a quantidade de hastes e folhas verdes na planta. Haste verde é a manutenção de hastes primárias e secundárias verdes, e a manutenção foliar é a retenção foliar propriamente dita, mesmo após a maturação fisiológica da semente (SILVA et al., 2013). Plantas de soja atacadas por percevejos na fase reprodutiva, podem perder grãos e vagens, e esse estresse ocasiona a retenção foliar e hastes verdes. A retenção foliar prejudica tanto a colheita, quanto o armazenamento e beneficiamento de grãos sementes, reduzindo sua qualidade. Fernandes et al. (1994) verificaram que a cultivar IAC-100 apresentou menor índice de retenção foliar que os genótipos IAC-8, IAC-12, IAC-17, Dourados, Emgopa 304 e Emgopa 309, sugerindo que esta cultivar tem menor tendência a apresentar retenção foliar mesmo sob o ataque de percevejos.

Para NDM, PEG, AC, PG, PSB e PCS a variância de ambiente foi de maior magnitude, quando comparada a genotípica e da interação $G \times A$. Para VA o componente da interação $G \times A$ foi o que teve maior influência na determinação das médias dos genótipos. Ainda, para PG e PSB os efeitos da interação $G \times A$ tiveram estimativas mais elevadas que a variância genotípica

A herdabilidade é um dos parâmetros genéticos que permite que o sucesso e as estratégias de seleção sejam delimitados (LAVIOLA et al., 2010). Quanto maiores os valores da estimativa desse parâmetro maiores são os ganhos possíveis com a seleção (GRAVOIS; BERNHARDT, 2000). Considerando os genótipos avaliados, as estimativas dos coeficientes de herdabilidade, com base na média dos genótipos, variaram de 0,23 a 0,74. Os menores valores foram para os caracteres PSB e PG. Em geral, a produtividade de grãos tem valores variando de médio a baixo, em função da herança quantitativa da característica (BUENO et al., 2013). Caracteres controlados por vários genes, são altamente influenciados pelo ambiente. A natureza complexa dificulta a seleção de genótipos geneticamente superiores (LI et al., 2003), uma vez que a correlação entre o fenótipo e o genótipo é reduzida (COIMBRA et al., 2009).

Os valores de herdabilidade para PG e PSB foram 0,24 e 0,35, respectivamente. O PSB está diretamente relacionado a PG, uma vez que este é mensurado pelo peso de grãos da parcela, após a separação dos grãos danificados por percevejos. Bueno e colaboradores (2013) encontraram valor de herdabilidade superior, de 83,50% para a produtividade de grãos, quando quatro ambientes

avaliados foram considerados conjuntamente. Segundo os autores, estes altos valores de herdabilidade podem ser explicados pela elevada variância genética obtida. Para Lopes et al. (1997), em experimento com infestação natural de percevejos, a herdabilidade encontrada para o rendimento de grãos por parcela foi de 57,92%.

Para PEG o valor de herdabilidade estimado foi de 0,58, valor este superior ao encontrado por Godoi e Pinheiro (2009). Estes autores encontraram herdabilidade de 36,06% para PEG, no sentido restrito. Porém, as estimativas foram feitas com base nas parcelas. Estimativas com base na média dos genótipos tendem a retornar valores mais altos de herdabilidade, uma vez que o efeito da variância residual é dividido pelo número de blocos e pelo número de locais de avaliação e a variância da interação é dividida apenas pelo número de locais. Para RF o valor de herdabilidade foi de 67%, também superior ao encontrado por Godoi e Pinheiro (2009) de aproximadamente 20% e Santos (2012) de 20,6%.

Já para APM, NDM e VA os valores de herdabilidade foram de 62, 75 e 31%, respectivamente. Valores, estes, inferiores aos encontrados por Santos (2012), que foram de 90, 81 e 63%, respectivamente. Para AC Lopes et al. (1997) encontraram estimativas da ordem de 82,97%, enquanto que nesse trabalho a magnitude foi de aproximadamente 47%.

As estratégias de seleção podem ser definidas a partir de estimativas de herdabilidade. A seleção para características com baixa herdabilidade, ou com efeito de dominância não é efetiva quando realizadas em gerações iniciais de endogamia (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Nestas circunstâncias o método de descendência de uma única vagem, empregado para a obtenção de LERs neste trabalho, oferece vantagem. Uma vez que este preconiza a redução do tempo requerido para que uma alta proporção de locos em homozigose seja atingido, permitindo o avanço de gerações fora da época normal de cultivo e tomando-se apenas uma vagem de cada planta. Por este método o número de heterozigotos é reduzido, a variância aditiva disponível para seleção é incrementada, o que possibilita que elevados ganhos de seleção sejam atingidos, principalmente para caracteres de baixa herdabilidade como PG e PSB.

3.3.3 Ganho de seleção

Apenas para a safra 2012/13 pode ser considerado que a infestação de percevejos foi alta suficiente para avaliação da reação dos genótipos, permitindo a discriminação dos mesmos quanto a resistência. Como o foco do trabalho é a identificação de linhagens resistentes e produtivas, optou-se por selecionar os genótipos com bom desempenho para os caracteres associados a resistência e com elevada produtividade para a safra 2012/13 e estimar o ganho destes na safra 2013/14.

Com base no PSB, foram selecionados aqueles genótipos com valor igual ou superior a 2908,26 kg ha⁻¹. De maneira a reduzir o número de linhagens, e aumentar o ganho de seleção, um segundo critério foi adotado: PG mínimo de 3635, 32 kg ha⁻¹ (20% maior que a média).

Os ganhos de seleção estimados com base na safra 2012/13 foram: *i)* APM: +8,8 cm – como a média das linhagens selecionadas foi de 72,6 cm, este incremento pode ser considerado satisfatório. Segundo Garcia; Pípolo e Lopes (2007) o ideal são valores acima de 60 cm, minimizando as perdas de grãos durante a colheita; *ii)* NDM: +5,1 dias – o aumento do número de dias para maturação não é ponto positivo quando se considera a seleção para resistência ao complexo de percevejos, uma vez que aumenta o tempo de exposição da cultura ao ataque do inseto-praga; *iii)* PEG: +1,5 – o período entre R5 e R7 é fase de maior suscetibilidade a cultura. Logo, genótipos que possuem um período de granação mais curto tendem a ter menos danos ocasionados por percevejos, um mecanismo de pseudo-resistência do tipo evasão hospedeira, onde o genótipo passa de forma mais rápida pela fase em que encontra-se mais suscetível. Seu uso tem sido sugerido na redução dos danos pelo ataque de percevejos; *iv)* RF: +0,2 – a retenção foliar dificulta a colheita, o armazenamento e o beneficiamento de sementes. A nota máxima é 5, e a média das linhagens foi de 2,1, um desempenho razoável, e um incremento não expressivo; *v)* VA: +0,0: não houve ganho de seleção para o valor agrônomo. Este parâmetro considera um padrão geral da parcela quanto ao número de vagens, altura, vigor, acamamento, hastes verdes e retenção foliar, debulha de vagens e sintomas de doenças. Apesar de não haver ganho para este parâmetro isolado, para os demais que o compõem, o ganho foi positivo; *vi)* AC: +0,0 – não houve ganho de seleção para acamamento, o que é um ponto positivo, uma vez que notas maiores sinalizam

a presença de plantas acamadas na parcela e além disso os dois genótipos parentais são cultivares, ou seja, passaram por processo de seleção para esta característica; *vii*) PG: +665,4 kg ha⁻¹ – um ganho excelente, de mais de 11 sacos por ha; *viii*) PSB: +482,4 kg ha⁻¹ – ganho elevado e simultâneo a produtividade. Esses resultados mostram que é possível aliar a resistência ao complexo de percevejo e elevado rendimento de grãos; *viii*) PCS: +0,2 g – o peso e cem sementes é outro tipo de mecanismo de pseudo-resistência, denominado de diluição de dano, que pode ser empregado na redução das perdas em função do ataque de insetos. Quanto menor o PCS, maior o número de sementes por plantas, e menor o número proporcional de sementes danificadas. Logo um aumento desta característica não é visto de maneira positiva na resistência a percevejos.

Na safra 2013/14 os ganhos com a seleção foram estimados na mesma direção porém, em proporções menores. Se a seleção fosse efetuada com base na safra 2013/14 os mínimos selecionáveis seriam 2723,32 kg ha⁻¹ para PG (15% maior que a média) e 2178,65,91 kg ha⁻¹ para PSB (perdas aceitáveis de 20% em relação à média de PG). Valores inferiores do que aqueles considerados para safra anterior e apenas três genótipos seriam escolhidos, sem nenhuma concordância com aqueles selecionados na safra anterior. Neste aspecto a tomada de decisão do melhorista é um ponto fundamental. Conhecendo as condições das duas safras, e os problemas enfrentados na segunda, a decisão mais plausível foi efetuar a seleção indireta, apenas com base nos resultados da safra 2012/13.

A não coincidência dos genótipos de uma safra para outra, da mesma forma que os componentes de variância, mostram a magnitude dos efeitos da interação G x A para PG e PSB. A interação G x A pode ocorrer de duas maneiras: de natureza simples, que ocorre quando existe diferença na variabilidade dos genótipos nos ambientes, mas a posição relativa não é alterada; e complexa quando os genótipos apresentem diferentes repostas as variações ambiente (CRUZ; CARNEIRO, 2006). No segundo caso, os melhoristas tem dificuldades para a tomada de decisão (COELHO et al., 2010).

Tabela 2 – Desempenho das 29 linhagens de soja selecionadas com base na média genética predita pelo BLUP (melhor preditor linear não viesado) para número de dias para a maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM em cm), período de granação (PEG em dias), acamamento (AC em escala de notas), valor agrônômico (VA em escala de notas), produtividade de grãos (PG em kg ha⁻¹), peso de cem sementes (PCS em g), retenção foliar (RF em escala de nota) e peso sementes boas (PSB em kg ha⁻¹), safra 2012/2013

Genótipo	APM	NDM	PEG	RF	VA	AC	PG	PSB	PCS
17	74,6	124,5	39,4	2,4	3,2	1,4	3703,5	3271,0	13,6
18	77,2	128,7	37,4	2,3	3,3	1,6	3669,4	3227,0	13,1
22	71,9	127,6	41,6	2,5	3,1	1,3	4021,6	3540,9	14,3
32	82,8	124,2	38,0	1,3	3,7	1,3	3842,7	3432,8	11,7
40	77,1	124,2	40,8	2,0	3,3	1,2	3747,8	3316,1	15,7
62	82,2	115,8	34,9	2,0	3,5	1,2	3648,4	3235,8	16,8
69	76,1	141,0	43,0	4,1	3,2	1,1	3648,6	3181,9	14,9
71	71,8	139,1	42,6	1,8	3,2	1,3	3752,6	3104,3	15,0
85	69,9	129,4	39,4	2,7	3,2	1,6	3890,5	3081,7	15,8
89	63,3	125,3	40,8	2,5	3,1	1,4	3798,8	3297,1	16,6
93	72,9	131,5	43,8	1,8	3,4	1,2	3936,7	3456,0	14,3
101	65,3	124,1	40,8	2,2	3,3	1,2	3669,0	3137,2	14,0
108	63,8	118,3	40,2	2,4	3,3	1,3	3693,4	3295,8	14,8
117	78,8	124,8	40,8	2,2	3,3	1,6	4089,5	3416,5	16,5
126	68,3	123,2	41,8	1,8	3,4	1,1	3858,4	3528,2	13,3
127	72,3	124,9	40,8	3,2	2,9	1,2	4137,3	3700,1	12,8
132	79,4	134,6	39,6	2,3	3,0	1,3	3833,2	3246,9	12,7
142	71,0	137,1	43,0	3,6	3,2	1,2	3758,7	3129,6	16,2
155	66,0	129,8	42,8	2,4	3,3	1,2	3812,4	3329,8	12,8
167	78,5	132,2	36,9	2,0	3,4	1,3	4044,9	3443,2	14,1
178	71,5	132,6	42,2	2,0	3,2	1,3	3656,2	2974,9	13,4
195	68,2	120,3	39,0	1,8	3,6	1,1	3783,6	3453,8	13,5
198	73,0	119,5	43,5	1,5	3,6	1,3	3796,7	3440,5	13,0
202	65,5	131,0	42,8	3,7	3,1	1,1	3978,8	3277,1	16,4
215	71,7	127,3	38,0	1,8	3,3	1,2	3950,5	3450,2	15,0
219	71,5	125,1	40,8	1,8	3,3	1,6	3776,6	3329,3	13,2
224	75,0	124,5	41,0	2,5	3,4	1,1	3916,4	3603,9	13,9
245	62,6	123,4	40,6	1,8	3,3	1,2	3707,1	3313,1	12,9
251	83,8	120,6	39,0	1,6	3,1	1,9	3925,1	3455,0	12,1
CD-215	71,3	115,7	40,2	1,3	3,8	1,1	2973,7	2777,7	15,6
IAC-200	64,8	135,9	44,1	1,4	3,1	1,1	2676,2	2372,3	11,4
μ_L	63,8	121,9	39,0	2,1	3,3	1,2	3163,9	2851,0	14,0
μ_S	72,6	127,1	40,5	2,3	3,3	1,3	3829,3	3333,4	14,2
GS	8,8	5,1	1,5	0,2	0,0	0,1	665,4	482,4	0,2

* μ_L : média geral das linhagens contidas no ensaio; μ_S : média das linhagens selecionadas; e GS: ganho de seleção

Tabela 3 – Desempenho das 29 linhagens de soja selecionadas com base na média genética predita pelo BLUP (melhor preditor linear não viesado) para número de dias para a maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM em cm), período de granação (PEG em dias), acamamento (AC em escala de notas), valor agronômico (VA em escala de notas), produtividade de grãos (PG em kg ha⁻¹), peso de cem sementes (PCS em g), retenção foliar (RF em escala de nota) e peso sementes boas (PSB em kg ha⁻¹), safra 2013/2014

Genótipo	APM	NDM	PEG	RF	VA	AC	PG	PSB	PCS
17	67,4	113,2	33,5	2,3	3,1	2,5	2505,7	2284,8	11,0
18	67,2	117,1	37,9	1,5	3,5	2,5	2590,7	2382,5	10,9
22	64,6	114,6	37,1	1,7	3,4	2,6	2431,3	2233,5	13,0
32	80,6	115,0	32,6	1,3	3,4	2,5	2588,4	2423,0	9,8
40	68,2	112,8	33,4	1,6	3,2	2,5	2334,8	2166,7	13,9
62	71,0	112,0	32,3	1,4	3,5	2,4	2415,3	2232,3	13,0
69	68,9	118,1	34,5	1,9	3,7	2,3	2472,8	2180,0	12,1
71	60,9	116,6	35,0	1,8	3,4	2,4	2577,7	2323,4	12,5
85	53,8	115,5	35,8	1,2	3,6	2,4	2189,3	2019,6	12,4
89	57,8	114,5	36,2	1,2	3,6	2,3	2472,2	2303,5	12,4
93	58,9	117,3	35,1	1,2	3,7	2,1	2464,3	2310,1	12,5
101	48,2	113,1	34,2	1,5	3,0	2,6	2362,8	2178,4	11,5
108	58,2	113,6	34,0	1,4	3,6	2,3	2478,0	2296,3	12,9
117	56,5	114,1	34,1	2,0	3,6	2,5	2424,8	2212,2	13,3
126	66,8	111,0	34,7	1,5	3,4	2,4	2640,6	2472,4	11,4
127	56,4	114,2	35,1	2,0	3,3	2,4	2282,0	2107,9	10,4
132	78,2	116,8	33,9	1,2	3,4	2,6	2354,5	2159,9	10,3
142	61,3	115,3	35,4	1,9	3,5	2,3	2432,2	2084,7	15,3
155	68,3	117,0	35,5	2,1	3,0	2,5	2360,6	2187,3	11,1
167	66,2	114,7	35,9	1,8	3,2	2,3	2304,3	2108,8	12,3
178	60,9	115,4	32,6	1,1	3,6	2,4	2243,5	2022,6	10,7
195	63,4	109,5	30,2	1,1	3,8	2,3	2725,9	2516,3	10,9
198	66,6	110,5	42,9	1,4	3,2	2,4	2304,4	2170,3	11,4
202	49,5	118,0	35,7	2,1	3,2	2,3	2076,9	1878,4	15,4
215	62,5	116,3	34,9	1,5	3,4	2,5	2399,0	2225,0	12,2
219	55,2	116,0	31,0	1,5	3,2	2,4	2044,3	1863,2	12,6
224	57,2	115,8	35,2	2,4	3,4	2,3	2468,9	2267,1	11,9
245	59,9	104,8	31,5	1,4	3,0	2,6	2497,8	2291,5	11,3
251	66,2	114,1	29,2	1,9	3,3	2,3	2408,1	2220,8	10,6
CD-215	68,4	110,9	30,6	1,2	3,7	2,4	2633,4	2450,3	13,0
IAC-100	55,2	116,3	36,1	1,7	3,3	2,4	2252,2	2076,5	9,6
BMX Potência	71,4	115,6	37,3	2,3	3,7	2,3	2697,2	2457,8	13,7
Vmax	60,8	118,7	37,1	2,1	3,2	2,3	2453,8	2108,2	14,0
BMX Apolo	53,8	104,7	28,1	1,3	3,9	2,1	2214,6	1963,4	12,1
μ_L	59,3	112,6	32,7	1,6	3,4	2,3	2366,5	2173,1	11,8
μ_S	62,8	114,4	34,5	1,6	3,4	2,4	2408,7	2211,1	12,0
GS	3,5	1,8	1,7	0,0	-0,1	0,1	42,2	38,1	0,2

* μ_L : média geral das linhagens contidas no ensaio; μ_S : média das linhagens selecionadas; e GS: ganho de seleção

Experimento em múltiplos ambientes, anos e safras agrícolas permitem ao melhoristas selecionar o melhor genótipo considerando regiões alvo, acessando a performance relativa de uma série de genótipos em diversas condições ambientais

(XU et al., 2010). Estimativas de herdabilidade mais precisas também são obtidas a partir de avaliações em uma série de ambientes, bem como o padrão de interação G x A (COOPER; DELACY e BASFORD, 1996). Sendo assim, para que se tenha uma estimativa mais precisa do feito na interação G x A na expressão de PG e PSB é fundamental que os experimentos sejam conduzidos em diferentes locais, anos e na presença e ausência do estresse – ataque por percevejo.

A medida de sucesso de um programa de melhoramento está na velocidade com que as metas almejadas são alcançadas. Este sucesso depende fundamentalmente das técnicas de seleção empregados. Neste aspecto, a predição dos valores genéticos é fundamental de maneira que seleção possa ser feita de forma mais acurada.

Na Tabela 4 são apresentados o efeito e o valor genotípico das 29 linhagens de soja selecionadas com padrão de produtividade e resistência. Para cada um dos desvios foi acrescido a média geral de maneira a facilitar a interpretação. Valores positivos indicam que o genótipo contribuiu para o aumento da média geral do ensaio, enquanto valores negativos indicam o contrário. Assim a LER 62 contribui para a redução da média geral em 2,36 dias para PEG, enquanto que a LER 198 atua incrementando em 7,52 dias. Para RF a LER 32 reduz a média geral em até 0,43 pontos, enquanto que a LER 69 atua aumentando em até 1,10 pontos na escala. Para PG, todos os genótipos atuam de maneira a elevar a média, o que era esperado uma vez que nesta tabela estão apenas os selecionados com base no ideótipo almejado; e para PSB apenas a LER 178 atua reduzindo a média em 38 kg, as demais tem efeito positivo. Para o PCS a LER 32 tem um efeito de redução de 2,20 g, e a 202 de aumento em 3,10 g.

Apesar dos ganhos preditos com a seleção terem sido positivos para PEG, RF e PCS estes resultados mostram que dentre os 29 selecionados podem ser identificados ainda aqueles com efeito negativo sobre a média para estes caracteres, que são envolvidos com a resistência ao complexo de percevejos e/ou atuam de maneira a mitigar os danos causados por estes insetos. As LERs 32, 195, 219, 245 e 251 merecem destaque neste aspecto. Uma vez que, dentro do grupo das selecionadas estas atuam reduzindo a média para PEG, RF e PCS e aumentam para PG e PSB.

Tabela 4 – Efeito genotípico (EG) e o valor genotípico (VG) para as 29 linhagens selecionadas considerando os caracteres envolvidos com a resistência da soja ao complexo de percevejos: retenção foliar (RF em escala de nota variando de 1 a 5), período de granação (PEG em dias), produtividade total (PG em kg ha⁻¹), peso de sementes boas (PSB em kg ha⁻¹) e peso de cem sementes (PCS em g), em dois ensaios conduzidos nas safras 2012/13 e 2013/2014

Genótipo	PEG		RF		PG		PSB		PCS	
	EG	VG	EG	VG	EG	VG	EG	VG	EG	VG
17	0,71	36,60	0,55	2,37	109,14	2875,62	154,03	2667,11	-0,55	12,36
18	2,11	38,00	0,12	1,94	120,08	2886,56	165,38	2678,46	-0,91	12,00
22	3,60	39,49	0,23	2,05	140,43	2906,91	206,99	2720,07	0,76	13,67
32	-0,41	35,48	-0,43	1,39	155,60	2922,08	249,76	2762,84	-2,20	10,71
40	1,18	37,07	0,01	1,83	62,10	2828,58	97,23	2610,31	1,98	14,89
62	-2,36	33,53	-0,10	1,72	66,22	2832,70	100,42	2613,50	2,04	14,95
69	2,95	38,84	1,10	2,92	86,26	2852,74	81,30	2594,38	0,50	13,41
71	2,76	38,65	0,01	1,83	108,37	2874,85	86,82	2599,90	0,85	13,76
85	1,64	37,53	0,12	1,94	68,79	2835,27	16,97	2530,05	1,32	14,23
89	2,67	38,56	0,01	1,83	94,31	2860,79	127,83	2640,91	1,70	14,61
93	3,32	39,21	-0,32	1,50	121,70	2888,18	182,02	2695,10	0,52	13,43
101	1,55	37,44	0,12	1,94	76,84	2843,32	82,08	2595,16	-0,15	12,76
108	1,46	37,35	0,12	1,94	118,69	2885,17	185,36	2698,44	0,86	13,77
117	1,36	37,25	0,23	2,05	139,19	2905,67	154,46	2667,54	1,93	14,84
126	2,30	38,19	-0,21	1,61	152,93	2919,41	266,03	2779,11	-0,69	12,22
127	2,11	38,00	0,66	2,48	128,83	2895,31	211,11	2724,19	-1,38	11,53
132	1,01	36,90	-0,10	1,72	101,69	2868,17	110,86	2623,94	-1,45	11,46
142	3,60	39,49	0,99	2,81	102,36	2868,84	42,75	2555,83	2,85	15,76
155	3,14	39,03	0,44	2,26	92,12	2858,60	123,81	2636,89	-0,97	11,94
167	0,81	36,70	0,12	1,94	117,62	2884,10	146,28	2659,36	0,20	13,11
178	1,36	37,25	-0,21	1,61	29,28	2795,76	-38,55	2474,53	-0,90	12,01
195	-1,34	34,55	-0,32	1,50	150,30	2916,78	248,53	2761,61	-0,77	12,14
198	7,52	43,41	-0,32	1,50	78,28	2844,76	146,93	2660,01	-0,74	12,17
202	3,23	39,12	0,99	2,81	62,05	2828,53	23,32	2536,40	3,10	16,01
215	0,71	36,60	-0,21	1,61	120,30	2886,78	170,83	2683,91	0,58	13,49
219	-0,03	35,86	-0,10	1,72	20,29	2786,77	32,23	2545,31	-0,03	12,88
224	2,30	38,19	0,66	2,48	134,78	2901,26	234,38	2747,46	0,03	12,94
245	0,34	36,23	-0,21	1,61	111,84	2878,32	169,39	2682,47	-0,88	12,03
251	-1,71	34,18	-0,10	1,72	136,29	2902,77	201,82	2714,90	-1,58	11,33
CD-215	-0,50	35,39	-0,54	1,28	31,13	2797,61	67,54	2580,62	1,38	14,29
IAC-100	4,25	40,14	-0,27	1,55	-112,82	2653,66	-188,34	2324,74	-2,53	10,38
Potência	3,46	39,35	0,52	2,34	76,98	2843,46	112,25	2625,33	1,92	14,83
Vmax	3,34	39,23	0,38	2,20	13,79	2780,27	-34,55	2478,53	1,93	14,84
Apolo	-3,52	32,37	-0,29	1,53	-50,81	2715,67	-103,10	2409,98	0,27	13,18

3.4 Conclusões

A população sintetizada apresenta variabilidade para as características de interesse, possibilitando a extração de linhagens que apresentem bom desempenho agrônomo e resistência ao complexo de percevejos.

As estimativas de herdabilidade foram elevadas para os caracteres altura da planta na maturação (APM), número de dias para maturação (NDM), período de granação (PEG), retenção foliar (RF), acamamento (AC) e peso de cem sementes (PCS). Para valor agrônomo (VA), produtividade de grãos (PG) e PSB os valores foram medianos a baixo.

Dos 251 genótipos avaliados, 29 foram selecionados considerando aqueles genótipos com PG mínimo de 3635, 32 kg ha⁻¹ (15% maior que a média) e 2908,26 kg ha⁻¹ para PSB (perdas aceitáveis de 20% em relação à média de PG) possibilitando a identificação de linhagens que conciliem produtividade com resistência ao complexo de percevejos.

O ganho predito com a seleção para PG e PSB foi de 665,4 e 482,4 kg ha⁻¹ considerando a safra 2012/13, e na mesma direção mas de magnitudes diferentes na safra 2013/14.

Existe a possibilidade de seleção de cultivares a partir dessa população de LERs (linhagens endogâmicas recombinantes).

A LER 32 merece destaque por apresentar efeitos genotípicos negativos para PEG, RF e o PCS, e positivos para PG e o PSB.

Referências

BELORTE, L.C.C., RAMIRO, Z.A., FARIA, A.M. Levantamento de percevejos pentatomídeos em cinco cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill, 1917] na região de Araçatuba, SP. **Arquivo Instituto de Biologia**, São Paulo, v.70, n.4, p.447-451, 2003.

BUENO, R.D.; BORGES, L.L.; ARRUDA, K.M.A.; BHERING, L.L.; BARROS, E.G.; MOREIRA, M.A. Genetic parameters and genotype x environment interaction for productivity, oil and protein content in soybean. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v.8, n. 38, p. 4853-4859, 2013.

COELHO, M.A.O.; CONDÉ, A.B.T.; YAMANAKA, C.H.; CORTE, H.R. Avaliação da produtividade de trigo (*Triticum aestivum* L.) de sequeiro em Minas Gerais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 5, p. 717-723, 2010.

COIMBRA, J.L.M.; BERTOLDO, J.G.; HAROLDO, T.E.; HEMP, S.; VALE, N.M.; TOALDO, D.; ROCHA, F.; BARILI, L.D.; GARCIA, S.H.; GUIDOLIN, A.F.; KOPP, M.M. Mineração da interação genótipo x ambiente em *Phaseolus vulgaris* L. para o Estado de Santa Catarina. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n. 2, p. 355-363, 2009.

COOPER, M.; DELACY, I.H.; BASFORD, K.E. Relationships among analytical methods used to analyze genotypic adaptation in multi-environment trials. In: COOPER, M.; HAMMER, G.L. **Plant adaptation and crop improvement**. Wallingford, UK: CAB Int., 1996. p. 193–224.

CORRÊA-FERREIRA, B.S.; CASTRO, L.C. de; ROGGIA, S.; CESCINETTO, N.L.; COSTA, J.M. da; OLIVEIRA, M.C.N. de. **MIP-Soja**: resultados de uma tecnologia eficiente e sustentável no manejo de percevejos no atual sistema produtivo da soja. 2013. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/87596/1/Doc-341.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2014.

CORRÊA-FERREIRA, B.S. Controle biológico do complexo de percevejos da soja. In: **Soja**: Tecnologia da produção II. Piracicaba: ESALQ/USP – Departamento de produção vegetal, 2000. p. 1-17.

CORRÊA-FERREIRA, B.S.; CASTRO, L.C.; ROGGIA, S.; CESCINETTO, N.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; KRZYZANOWSKI, F.C.; MINAMI, C.A. **Percevejos e a qualidade da semente de soja – Série Sementes**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 15 p. (Embrapa Soja: Circular Técnica, 67).

CORRÊA-FERREIRA, B.S.; PANIZZI, A.R. **Percevejos da soja e seu manejo**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1999. 45p.

DEPIERI, R.A.; PANIZZI, A.R. Rostrum length, mandible serration, and food and salivary canals areas of selected species of stink bugs (Heteroptera, Pentatomidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 54, n. 4, p. 584-587, 2010.

FERNANDES, M.F.; ATHAYDE, F.L.M.; LARA, M.F. Comportamento de cultivares de soja no campo em relação ao ataque de percevejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.3, p. 363-367, 1994.

GARCIA, A.; PÍPOLO, A.E.; LOPES, I.O.N.; Portugal, F.A.F. **Instalação da lavoura de soja**: época, cultivares, espaçamento e população de plantas. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 11p.

GAZZONI, D.L.; MOSCARDI, F. Effect of defoliation levels on recovery of leaf area, on yield and agronomic traits of soybeans. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 411-424, 1998.

GODOI, C.R.C.; PINHEIRO, J.B. Genetic parameters and selection strategies for soybean genotypes resistant to the stink bug-complex. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.32, n. 2, p. 328-336, 2009.

GRAVOIS, K.A.; BERNHARDT, J.L. Heritability x environment interactions for discoloured rice kernels. **Crop Science**, Madison, v.40, n. 2, p. 314-318, 2000.

GUEDES, J.V.C.; ARNEMANN, J.A.; STÜRMER, G.R.; MELO, A.A.; BIGOLIN, M.; PERINI, C.R.; SARI, B.G. Percevejos da soja: novos cenários, novo manejo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.jan./fev., p.28-34, 2012.

HART, K.A.; PIMENTEL, D. Environmental and economic costs of pesticide use. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of Pest Management**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 237-239.

HOFFMANN-CAMPO, C.B.; MOSCARDI, F.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; OLIVEIRA, L.J.; SOSA-GOMEZ, D.R.; PANIZZI, A.R.; CORSO, I.C.; GAZZONI, D.L.; OLIVEIRA, E.B. **Pragas da soja no Brasil e seu manejo integrado**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 70p.

LAVIOLA, B.G.; ROSADO, T.B.; BHERING, A.K.K.; RESENDE, M.D.V. Genetic parameters and variability in physic nut accessions during early developmental stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.10, p. 1117-1123, 2010.

LI, Z.K.; YU, S.B.; LAFITTE, H.R.; HUANG, N.; COURTOIS, B.; HITTALMANI, S.; VIJAYAKUMAR, C.H.; LIU, G.F.; WANG, G.C.; SHASHIDHAR, H.E.; ZHUANG, J.Y.; ZHENG, K.L.; SINGH, V.P.; SIDHU, J.S.; SRIVANTANEEYAKUL, S.; KHUSH, G.S. Qtl x environment interactions in rice. I. Heading date and plant height. **Theoretical Applied of Genetics**, Stuttgart, v.108, n.1, p.141-153, 2003.

MUSSER, F.R.; CATCHOT, A.L. Mississippi soybean insect losses. **Midsouth Entomologist**, Mississippi, v. 1, p. 29-36, 2008.

ODEGARD, Y.R.; VOET, E. van der. The future of food — Scenarios and the effect on natural resource use in agriculture in 2050. **Ecological Economics**, New Hampshire, v. 97, p. 51–59, 2014.

OLIVEIRA, J.R. Ovos de *Euschistus heros* parasitados por *Telenomus podisi*. **Informativo do Manejo Ecológico de Pragas**, Brasília, v.63, p.738-739, 2010.

PANIZZI, A.R.; SLANSKY, F. Review of phytophagous pentatomids (Hemiptera: Pentatomidae) associated with soybean in the Americas. **The Florida Entomologist**, Lutz, v.68, n.1, p.184-214, 1985.

PANIZZI, A.R.; McPHERSON, J.E.; JAMES, D.G.; JAVAHERY, M.; McPHERSON, R.M. Stink bugs (Pentatomidae). In: SCHAEFER, C.W.; PANIZZI, A.R. (Ed.). **Heteroptera of economic importance**. Boca Raton: CRC, 2000. chap. 13, p. 432-434.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 14^a ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477p.

PRADO, E.P.; RAETANO, C.G.; AGUIAR-JÚNIOR, H.O.; CHRISTOVAM, R.S.; POGETTO, M.H.F.A.D.; GIMENES, M.J. Velocidade do fluxo de ar em barra de pulverização no controle químico de *Anticarsia gemmatilis*, Hübner e percevejos na cultura da soja. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 995-1004, 2010.

RAY, D.K.; MUELLER, N.D.; WEST, P.C.; FOLEY, J.A. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v.8, n.6, e.66428, 2013.

ROCHA, F.; BERMUDEZ, F.; FERREIRA, M.C.; OLIVEIRA, K.C.; PINHEIRO, J.B. Effective selection criteria for assessing the resistance of stink bugs complex in soybean. **Crop Breeding and applied Biotechnology**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 174-179, 2014.

SANTOS, M.F. **Mapeamento de QTL e expressão gênica associados à resistência da soja ao complexo de percevejos**. 2012. 119p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

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

SMITH, C.M. **Plant resistance to arthropods molecular and conventional approaches**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2005. 423p.

STÜRMER, G.R.; CARGNELUTTI-FILHO, A.; STEFANELO, L.S.; GUEDES, J.V.C. Eficiência de métodos de amostragem de lagartas e de percevejos na cultura de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 12, p. 2105-2111, 2012.

TEMPLE, J.H.; LEONARD, B.R.; DAVIS, J.A.; FONTENOT, K. Insecticide efficacy against red banded stink bug, *Piezodorus guildinii* (Westwood), a new stink bug pest of Louisiana soybean. **Midsouth Entomologist**, Mississippi, v. 2, p. 68–69, 2009.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

VARGAS, M.; COMBS, E.; ALVARADO, G.; ATLIN, G.; MATHEWS, K.; CROSSA, J. META: A Suite of SAS Programs to Analyze Multienvironment Breeding Trials. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p.11–19, 2013.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.

WIEST, A.; BARRETO, M.R. Evolução dos insetos-praga na cultura da soja no Mato Grosso. **EntomoBrasilis**, Vassouras, v. 5, n. 2, p.84-87, 2012.

XU, Y. **Molecular plant breeding**. Wallingford: CAB Int., 2010. 734p.

4 MELHORAMENTO DE SOJA PARA RESISTÊNCIA AO COMPLEXO DE PERCEVEJOS: MÉTODO GENEALÓGICO OU SPD?

Resumo

Para o desenvolvimento de cultivares superiores, os melhoristas dispõem de diferentes métodos de melhoramento, como o populacional, o genealógico, o SSD (Descendência de uma única semente) e variações, entre outros. A escolha do método utilizado depende das características de interesse e dos recursos disponíveis. Quando se trata da seleção de genótipos de soja com resistência ao complexo de percevejos, não existem relatos comparativos entre métodos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi comparar a eficiência de dois métodos de seleção, genealógico e descendência de uma única vagem (SPD) como procedimento para a identificação de linhagens de soja com elevado rendimento e resistência. Para isso 502 genótipos selecionados a partir do método genealógico e 251 obtidos pelo método SPD, oriundos de um mesmo cruzamento entre IAC-100, fonte de resistência ao complexo de percevejos e CD-215, foram avaliados a campo, na safra de 2013/14 em delineamento alfa-látice. Foram avaliados caracteres agrônômicos e aqueles envolvidos com a resistência: número de dias para a maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM), período de granação (PEG), acamamento (AC), valor agrônômico (VA), produtividade de grãos (PG), peso de cem sementes (PCS), retenção foliar (RF) e peso sementes boas (PSB). Foram obtidos os valores dos componentes de variâncias, herdabilidade, médias, ganho de seleção (GS) e correlação entre caracteres para ambos os métodos de condução de população segregante. Os genótipos avaliados apresentaram diferenças significativas para todos os caracteres avaliados em ambos os métodos de condução de população segregante, ou seja o cruzamento CD-215 x IAC-100 possui potencial genético para a geração de linhagens com desempenho superior para produtividade e resistência ao complexo de percevejos. Quando a seleção foi praticada em 20% das linhagens obtidas, o GS estimado foi próximo entre os métodos de condução empregados para PG e PSB. Para NDM, RF e PCS, que são caracteres associados a resistência ao complexo de percevejo, o método SPD se mostrou mais promissor. O método genealógico proporcionou a obtenção de um maior número de linhagens com desempenho superior as testemunhas comerciais utilizadas BMX Potência e Vmax para PG. O valor de correlação entre PG e PSB foi mais elevado quando o método genealógico foi utilizado. Ambos os métodos SPD e genealógico foram eficientes na geração de linhagens superiores para produtividade e resistência ao complexo de percevejos.

Palavras-chave: *Glycine max*; Ganho de seleção; Resistência de plantas a insetos; Método de melhoramento; Rendimento

Abstract

For the development of superior cultivars breeders have different breeding methods, such as bulk, pedigree, single seed descent (SSD) and variations on this basic techniques. The choice of method depends on the characteristics of interest (breeding objectives) and the resources available. For to the selection of soybean genotypes with resistance to pests from the stink bug complex, there have been no

comparative reports between methods. Thus, the objective of this study was to compare the efficiency of two selection methods, pedigree and single pod descent (SPD), as a procedure to identify soybean lines with high yield and resistance to the stink bug complex. We evaluated 502 lines selected using the pedigree method and 251 obtained by the SPD method, originated from the same cross between IAC-100, source of resistance to stink bug complex and CD-215. These were arranged in an alpha-lattice design with three replication. We evaluated agronomic traits and those involved with the resistance: number of days to maturity (NDM), plant height at maturity (PHM), grain filling period (GFP), lodging (L), agronomic value (AV), grain yield (GY), 100 seed weight (HSW), leaf retention (LR) and good seeds weight (GSW). The values of variance components, heritability, means, selection gain (SG) and correlations between characters were estimated, for both selection methods. The lines obtained showed significant differences for all traits evaluated in both selection methods. The CD-215 x IAC-100 cross has potential for the generation of lines with superior performance for yield and resistance. When selection was done in 20% of the resulting lines, estimated SG using the two selection methods was similar for GY and GSW. For NDM, LR and HSW, which are characters associated with resistance to stink bug complex, the SPD method permitted selection of more promising lines. The pedigree method allowed selection of larger number of lines with superior performance for GY over the commercial checks BMX Potência and Vmax. Correlation between GY and GSW was higher when the pedigree method was used. Both SPD and pedigree methods were efficient in identification of superior soybean progenies for high yield and resistance to the stink bug complex.

Keywords: *Glycine max*; Selection gain; Plant resistance to insects; Breeding methods; Yield

4.1 Introdução

O melhoramento de soja, da mesma maneira que para outras culturas, é um processo que envolve o desenvolvimento de variabilidade para as características desejadas, identificação de genótipos superiores e a produção comercial de sementes (MILADINOVÍČ et al., 2011). Para reunir alelos desejáveis faz-se hibridação entre diferentes genitores que possuem as características de interesse. Neste aspecto, o melhorista precisa definir os genótipos que serão cruzados para a obtenção da população segregante e qual método de condução será empregado. O conhecimento sobre a eficiência dos métodos pode ajudar quanto a definição de qual poderá proporcionar ganhos maiores de acordo com a cultura e as características a serem melhoradas (KAMBAR; KONDO; SHASHIDHAR, 2011).

Vários métodos de seleção têm sido propostos para o melhoramento do rendimento em plantas autógamas, como: genealógico, descendência de uma única semente (SSD) ou vagem (SPD), população entre outros (KAMBAR; KONDO; SHASHIDHAR, 2011), mas quanto a resistência da soja ao complexo de percevejos,

composto pelas espécies *Nezara viridula*, *Piezodorus guildinii* e *Euchistus heros*, não existem estudos comparativos. Estes insetos têm ganhado destaque na cultura pelo dano direto que causam a semente, sendo este irreversível, bem como indiretos como a transmissão de patógenos e retenção foliar (SILVA; CANTERI e SILVA, 2013; GUEDES et al., 2012; MUSSER et al., 2011; MUSSER et al., 2010; PRADO et al., 2010; CORRÊA-FERREIRA et al., 2009; DEGRANDE e VIVAN, 2007; PANIZZI e SLANSKY, 1985).

O melhoramento visando a redução da vulnerabilidade da soja a estes insetos é um campo promissor de pesquisa. No entanto as características envolvidas com a resistência são de controle genético complexo e é necessário aliar a produtividade, outra característica quantitativa, o que dificulta a obtenção de genótipos com alto rendimento e com resistência (GODOI e PINHEIRO, 2009). As bases genéticas e a herança de uma dada característica são pontos chaves para a escolha do método de melhoramento. Segundo Godoi e Pinheiro (2009) para o índice de percentagem de danos nas vagens a seleção pode ser efetuada em gerações iniciais, mas para o período de granação, percentagem de sementes manchadas e retenção foliar a seleção deve ser feita em gerações mais avançadas de endogamia, uma vez que os efeitos de dominância podem dificultar a identificação de plantas com desempenho superior para essas características.

Os métodos de condução de população segregante em plantas autógamas podem ser divididos em duas categorias: aqueles que não separam as fases de endogamia e seleção e os que separam (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2001). O método genealógico ou *pedigree* enfatiza a seleção de plantas individuais a partir da geração F₂, e a partir F₃ a seleção é feita entre famílias e em melhores indivíduos dentro da família. A seleção em estágios iniciais de endogamia proporciona a eliminação de genótipos com desempenho inferior (JUMBO et al., 2011), porém, nesta fase os efeitos de dominância e sobredominância presentes na variância genética podem dificultar a identificação de plantas superiores em autógamas (PANDINI et al., 2002), já que estes efeitos são perdidos pelo efeito da endogamia.

O método SSD (Descendência de uma única semente) separa as fases de seleção e endogamia. Este procedimento oferece a oportunidade que o avanço de geração seja feito fora de épocas normais de semeadura e em condições diferentes daquelas de cultivo, como em casa de vegetação, por exemplo, reduzindo potencialmente o tempo para o desenvolvimento de linhagens (FEHR, 1987). Outra

vantagem do método é que não há perda por amostragem, uma vez que todos os indivíduos F_2 estarão representados em gerações avançadas. Um dos problemas do método SSD é a perda de linhagens por inviabilidade da semente, neste aspecto, uma variação do método, o SPD pode ser uma saída (CHAHAL e GOSAL, 2002). Ao mesmo tempo, este método oferece a vantagem de que a seleção é feita com níveis altos de endogamia (MURTHY, 1979), entretanto, o avanço de genótipos aleatórios sem seleção para a adaptação ou outras características de alta herdabilidade pode reduzir a eficiência do mesmo.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi comparar a eficiência de dois métodos de seleção, genealógico e SPD, como procedimento para a identificação de linhagens de soja com elevado potencial produtivo e resistência ao complexo de percevejos.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Material Vegetal

As populações em estudo, foram obtidas a partir do cruzamento entre a cultivar IAC-100 e CD-215. A cultivar IAC-100 foi desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas, do Estado de São Paulo. Esta cultivar apresenta pelo menos cinco mecanismos de resistência ao complexo de percevejos: menor período de granação, maior número de sementes, rejeição de vagens novas danificadas e substituição por novas vagens, senescência normal com queda de folhas na maturação, e resistência a levedura *Eremothecium coryli*, transmitida por estes insetos (ROSSETTO et al., 1995). A cultivar CD-215 foi desenvolvida pela Cooperativa Central Agropecuária de Desenvolvimento Tecnológico e Econômico Ltda - COODETEC. Essa cultivar é suscetível ao complexo de percevejos, porém, apresenta resistência ao cancro da haste e a mancha olho-de-rã, resistência moderada ao oídio e tolerância à acidez do solo (COODETEC, 2015).

4.2.2 Métodos de seleção

4.2.2.1 SPD

As sementes F_1 foram obtidas em 2007/2008, as quais foram semeadas em casa de vegetação. A geração F_2 foi conduzida a campo na safra 2008/2009 (MÖLLER, 2010), resultando em um total de 251 progênies, que foram avançadas até a geração F_8 , utilizando o método do descendente de uma única vagem. Esse método é realizado tomando-se uma única vagem de cada indivíduo de uma geração para estabelecer a geração subsequente (BORÉM e MIRANDA, 2009).

O avanço foi feito em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), localizado no município de Piracicaba, SP, sob condições controladas de temperatura e irrigação. Foram semeadas em vasos três sementes (uma vagem) de cada planta F_2 . Tal procedimento foi repetido nas gerações seguintes até a geração F_7 , quando o nível de homozigose desejado foi obtido. Cada planta F_7 foi colhida individualmente. Estas sementes (em torno de 50 sementes por planta) foram multiplicadas na região Centro-Oeste. As sementes oriundas da multiplicação foram utilizadas para o experimento na safra 2012/13 (F_8), e deste para a safra 2013/14 (F_9).

4.2.2.2 Genealógico

A partir do mesmo cruzamento citado anteriormente, foram obtidas 286 plantas F_2 , que foram conduzidas em condições representativas de cultivo, e sem controle químico de insetos (MÖLLER, 2010). Um total de 229 progênies $F_{2:3}$ foram obtidas, num total de 3465 plantas, que foram conduzidas a campo na safra de 2009/10, também sem controle químico de insetos (SANTOS, 2012). Há redução no número de progênies em função de perdas pelo ataque de percevejo. Uma vez que a progênie seja altamente suscetível, o dano é tão severo que impossibilita a colheita e a germinação das sementes.

Cada planta $F_{2:3}$ deu origem a uma linha, totalizando 3366 progênies F_4 , que foram avaliadas na safra agrícola de 20011/12 com infestação natural de percevejos. Para a seleção, utilizou-se um índice para atender ao ideótipo desejado, ou seja, satisfizesse às três condições: *i*) assumir como menor valor para o peso de grãos

total da parcela (PGs) 800 g (determinado pela média dos genótipos no experimento acrescido de 15%), qualquer que fosse o valor do peso de sementes boas (PSB); *ii*) assumir como menor valor de PSBs = 650 g (considerando-se um máximo aceitável de perdas de 20% em relação ao mínimo estabelecido para PG), qualquer que seja o valor de PG e; *iii*) assumir seu valor máximo quando PG e PSB foram maiores. A função matemática estabelecida foi: $(PG_s - K1)(PSB_s - K2)$, sendo K1 e K2 o melhor valor selecionável dos caracteres PTS e PSB, respectivamente. Segundo o índice, 504 progênies foram selecionadas, aproximadamente 15% do total (OLIVEIRA et al., 2013).

4.2.3 Experimentos

Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental do Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ - USP), localizada na cidade de Piracicaba - SP, na safra 2013/2014. Cada unidade experimental foi representada por quatro linhas de 5 m. As fileiras foram espaçadas 0,5 m, contendo 18 sementes por metro linear. A infestação de percevejos foi natural, e a densidade populacional dos insetos foi acompanhada semanalmente pelo método de pano de batida (STÜRMER et al., 2012). Por ocasião das avaliações e colheita apenas a área útil, composta pelas duas linhas centrais foi considerada.

4.2.3.1 SPD

Foram avaliados 256 genótipos, sendo 251 linhagens endogâmicas recombinantes, os respectivos genitores, e três testemunhas (BMX Potência, Vmax e BMX Apolo), arranjados em alfa-látice 32 x 8, com 3 repetições.

4.2.3.2 Genealógico

As 502 linhagens, os dois genitores, e seis testemunhas (JAB 00-05-6/763D (linhagem melhorada), Conquista, BMX Potência, Vmax, LQ1402 e LQ1519 (linhagens com alelos de resistência ao complexo de percevejos oriundos de IAC-100) foram avaliados em um delineamento de alfa-látice 10 x 51, com 3 repetições.

4.2.4 Avaliação do Desempenho Agronômico e Resistência

A avaliação do desempenho agronômico das linhagens foi feito a partir dos seguintes caracteres:

1. Número de dias para a maturidade (NDM), contados desde a semeadura até a data em que 95% das vagens apresentarem-se maduras;
2. Altura da planta (APM em cm) na maturidade, medida desde a base da planta (no solo) até o ápice da haste principal;
3. Acamamento (AC), avaliado na maturidade por uma escala de notas visuais de 1 a 5, sendo a nota 1 correspondente à planta ereta e a 5 à planta acamada;
4. Valor agronômico (VA), avaliado na maturidade através de uma escala de notas visuais de 1 a 5, sendo a nota 1 correspondente à planta sem nenhum valor agronômico e a nota 5 à planta com excelentes características agronômicas (grande número de vagens, altura superior a 60 cm, vigor, sem acamamento, ausência de hastes verdes e retenção foliar, sem debulha de vagens e sem sintomas de doenças);
5. Produtividade de grãos (PG), avaliada pelo peso dos grãos (g) da parcela;

Foram avaliados ainda quatro caracteres associados à resistência aos insetos:

1. Período de granação (PEG em dias) obtido pela diferença entre R7 e R5;
2. Peso de cem sementes (PCS em g), a partir de uma amostra ao acaso após padronização da umidade.
3. Retenção foliar (RF), sendo a nota zero para plantas com senescência normal e a nota 5, quando as plantas apresentarem várias hastes e folhas verdes (colheita impraticável);
4. Peso de sementes boas (PCS em g), ou seja, sem danos provocados por percevejos, avaliado após a colheita e beneficiamento dos grãos. Para o beneficiamento as sementes foram passadas em um espiral,

onde os grãos chochos, verdes e malformados foram separados pela ação das forças da gravidade e centrífuga.

4.2.5 Análise dos dados

As análises foram realizadas de maneira independente para cada método de seleção.

Os componentes de variância foram estimados via modelo aleatório (PROC MIXED), pelo método Máxima Verossimilhança Restrita (REML). Este método tem se tornado padrão para a estimativa dos componentes de variância e parâmetros genéticos quando se dispõe de dados desbalanceados (COIMBRA et al., 2005; PIEPHO e MOHRING, 2007). As propriedades estatísticas o fazem mais indicado em relação aos mínimos quadrados e máxima verossimilhança (SEARLE et al., 1992).

Para cada uma das características avaliadas o seguinte modelo foi adotado, considerando todos os efeitos como aleatórios (eq.1):

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B_j(R_k) + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

Onde:

Y é o valor da observação referente ao genótipo i na repetição j ;

μ é a média do efeito principal;

G_i é o efeito do genótipo i ;

R_k é o efeito da repetição k ;

B_j é o efeito do bloco j dentro da repetição k ;

ε_{ijk} é o erro ou resíduo aleatório.

A herdabilidade foi estimada com base na média dos genótipos (eq. 2):

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_e^2}{nRep}} \quad (2)$$

Onde:

σ_g^2 e σ_e^2 são as variâncias genotípicas e do erro, respectivamente; e

$nRep$ o número de repetições.

Para a estimativa das médias ajustadas para blocos incompletos, utilizou-se o mesmo método e modelo supracitado, porém, considerando-se o efeito de genótipo fixo e os demais termos do modelo aleatórios. Para a análise de variância do tipo 3, os graus de liberdade do denominador para o efeito fixo de genótipo foram estimados com base no método de aproximação de Kenward-Roger (KENWARD; ROGER, 1997). Além disso, cada linhagem teve seu efeito comparado aos das testemunhas comuns a ambos os métodos de condução de população segregante pelo teste t (p -valor < 0,05).

A seleção dos genótipos foi feita com base no BLUE (Melhor estimador Linear Não Viesado) para PSB (ROCHA et al., 2014). Em ambos os métodos de condução de população segregante foram tomadas 20% das linhagens que apresentaram os maiores valores de PSB.

Para a estimativa do ganho de seleção (GS) a seguinte expressão foi empregada (eq. 3):

$$GS = DS \times h^2 \quad (3)$$

Sendo:

DS o diferencial de seleção; e

h^2 a herdabilidade.

O diferencial de seleção (DS) foi estimado considerando a médias dos BLUEs das linhagens selecionadas para cada característica subtraído do valor da média geral das linhagens.

Para a obtenção do grau de associação entre as variáveis analisadas estas foram submetidas a análise de correlação de Pearson (CARVALHO, LORENCETTI; BENIN, 2004), separadamente para os métodos de condução de população segregante.

4.3 Resultados e Discussão

A Figura 1 ilustra a densidade populacional de percevejos na área em que ambos os experimentos estavam instalados. A amostragem se iniciou quando os primeiros genótipos atingiram o estágio R3. Pode-se observar um aumento populacional durante o período de granação, R5 – R7, porém, o número de insetos

ficou abaixo do limiar de dano econômico, se considerado lavoura de produção de grãos, que é de quatro; ficando acima apenas do nível de dano econômico se considerada a produção de sementes, que é de dois (2 metros de fileira soja) (CORRÊA-FERREIRA et al., 2012).

Figura 1 – Flutuação populacional de percevejos na área experimental da safra 2013/2014 em diferentes estágios fenológicos da soja R3 - R8, avaliado pelo método do pano de batida (2 m de fileira), em genótipos de soja selecionados com base em dois métodos de condução de população segregante

Com base nos resultados obtidos verifica-se efeito significativo ($P < 0,01$) do efeito genótipo para as oito características avaliadas. Isso indica que que ambos os métodos genealógico e SPD produziram linhagens com variabilidade suficiente para PEG, APM, RF, VA, AC, PG, PSB e PCS, e portanto pode ser esperado que haja reposta a seleção (SINGH et al., 2014).

Na Tabela 1 observa-se o desempenho das linhagens, genitores e testemunhas comuns para os dois métodos de condução de população segregante. O experimento conduzido com as linhagens obtidas pelo método SPD apresentou médias gerais mais elevadas para PEG, APM, RF, VA, AC, PG, PBS e PCS; da mesma maneira, quando apenas a média das linhagens foi considerada, estas foram superiores para NDM, APM, RF, AC, PG, PSB e PCS. No método SPD nenhuma seleção foi efetuada, dessa forma o aumento para características indesejáveis como a RF e o AC são esperados.

Tabela 1 — Desempenho de genótipos de soja com base na média estimada pelo BLUE (melhor estimador linear não viesado) para número de dias para a maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM em cm), período de granação (PEG em dias), acamamento (AC em escala de notas), valor agrônômico (VA em escala de notas), produtividade de grãos (PG em kg ha⁻¹), peso de cem sementes (PCS em g), retenção foliar (RF em escala de nota) e peso sementes boas (PSB em kg ha⁻¹), considerando dois métodos de condução de população segregante: genealógico e SPD (descendência de uma única vagem)

Genealógico									
	NDM	PEG	APM	RF	VA	AC	PG	PSB	PCS
Linhagens	109,70	34,05	57,68	1,55	4,13	1,52	2085,56	1886,54	10,21
IAC-100	113,07	29,27	46,11	2,00	4,15	1,59	2014,80	1761,66	9,25
CD-215	105,72	33,75	60,39	1,04	4,55	1,74	1733,37	1487,19	10,96
Média Pais	109,40	31,51	53,25	1,52	4,35	1,67	1874,09	1624,43	10,10
V-Max	111,41	35,43	57,33	1,29	3,93	1,37	2007,83	1324,65	13,84
BMX Potência	111,18	34,88	68,38	1,10	4,04	1,04	2581,86	2250,09	13,52
Média geral	109,75	34,05	57,77	1,55	4,13	1,52	2086,81	1884,34	10,25
SPD									
Linhagens	112,56	32,69	59,25	1,59	3,44	2,30	2364,87	2172,32	11,79
IAC-100	118,59	39,10	53,16	1,77	3,08	2,80	2085,18	1942,87	9,06
CD-215	110,19	28,69	71,49	1,11	4,00	2,47	2954,99	2756,83	13,32
Média Pais	114,39	33,89	62,33	1,44	3,54	2,63	2520,09	2349,85	11,19
V-Max	122,70	41,07	60,96	2,41	2,91	2,12	2564,88	2050,68	14,43
BMX Potência	116,88	41,27	75,35	2,65	4,00	2,26	3023,90	2741,87	13,95
Média geral	112,59	32,74	59,31	1,60	3,44	2,30	2368,21	2173,82	11,80

Já a seleção efetuada no método genealógico não foi eficiente para o aumento dos principais caracteres, PG e PSB. Os efeitos de heterose presentes em gerações iniciais de endogamia podem prejudicar o processo de seleção, uma vez que a identificação de indivíduos com desempenho realmente superior é dificultada (GODOI e PINHEIRO, 2009). Além disso, para estes caracteres apenas um ciclo de seleção foi realizado. O método genealógico pode ser mais eficiente, ou seja, produzir uma frequência mais elevada de linhagens com as características desejadas, quando existe seleção entre e dentro de progênies, ainda que visual (MILADINOVIC et al., 2011).

Para NDM, RF e PCS a média das linhagens obtidas pelo método genealógico é menor, o que é positivo, uma vez que estes caracteres estão associados com a resistência ao complexo de percevejos. Quando o genótipo tem um menor ciclo, fica menos tempo exposto a ação dos insetos-praga. Este não é um mecanismo de resistência propriamente dito, mas pode ser utilizado na redução dos danos causados por insetos. Lara (1991) chama este tipo de pseudo-resistência de evasão hospedeiro, onde o período de exposição da cultura ao ataque da praga é

reduzido, bem como o número de aplicações de inseticidas e as perdas na produção (VIEIRA e LIMA, 1999).

O ataque por percevejos causa a retenção foliar e haste verde. Isso ocorre por que plantas de soja que são atacadas na fase reprodutiva perdem grãos e vagens, e esse estresse ocasiona a manutenção das folhas e hastes verdes, mesmo após a maturação das sementes (SILVA; CANTERI; SILVA, 2013). Estes danos dificultam a colheita (CORRÊA-FERREIRA; PANIZZI, 1999). Tão logo, durante a condução da população pelo método genealógico, apesar de não ter havido seleção visual propriamente dita, aquelas linhagens com alta retenção foliar não puderam ser colhidas, o que proporcionou a redução dos valores de RF, e da mesma maneira uma redução no PCS ocorreu. Este também é considerado um mecanismo de pseudo-resistência chamado de diluição de dano. Genótipos com menor peso de cem sementes produzem um maior número de sementes por hectare, dessa maneira, existe uma diluição na proporção de sementes atacadas (ROSSETO e LARA, 1991).

Quando se compara a média dos pais com a média das linhagens obtidas, o método genealógico se mostra mais promissor, uma vez que ocorreu um incremento de 211,48 e 262,11 kg ha⁻¹ para PG e PSB, contra os valores de 155,21 e 177,53, para o método SPD. Uma vez que neste último método não existe seleção, todas as linhagens são aleatoriamente avançadas, e isso pode reduzir a eficiência do método (JUMBO et al., 2011).

Quando as variâncias genéticas são analisadas observou-se maiores estimativas para o método SPD para todos os caracteres, com exceção do rendimento de grãos (PG) (Tabela 2). Coerentemente, as estimativas de herdabilidade também foram mais elevadas nesse método para a maioria dos caracteres avaliados. O valor da herdabilidade mostra o quão confiável é o valor fenotípico como indicador do efeito genotípico (BILGIN et al., 2011). O principal objetivo da estimativa desse parâmetro é a predição dos ganhos genéticos (COOPER e HAMMER, 1996), a partir de diferentes estratégias de seleção.

Segundo as estimativas do GS o método SPD apresenta vantagem em relação ao genealógico (Tabela 2): *i*) NDM: o método SSD proporcionou uma redução de - 0,11 dias contra um aumento de 0,12 para o genealógico; *ii*) PEG: apesar de uma redução desse período ser positivo, do ponto de vista da resistência, ambos os métodos proporcionaram um aumento da característica, porém, o método SPD

apresentou valor inferior; *iii*) APM: houve ganho para ambos os métodos; *iv*) RF: menores valores para esse caractere são desejáveis, e isso foi proporcionado pelo método SPD; *v*) VA: o método SPD proporcionou melhoria do desempenho agrônômico, enquanto que o genealógico proporcionou redução para estes valores; *vi*) AC: valores negativos indicam uma melhoria para o desempenho do genótipo, uma vez que notas menores representam parcelas com plantas menos acamada. O método SPD é mais vantajoso neste aspecto; *vii*) PG: apesar da diferença entre os métodos ser mínima, SPD tem estimativas mais elevadas de GS, uma vez que a estimativa dos valores de herdabilidade foram mais elevados; e o mesmo resultado obteve-se para o PSB; *viii*) PCS: uma redução dos valores foi proporcionado pelo método SPD.

A variância, o ganho genético e a herdabilidade são de grande importância em programas de melhoramento. A partir dessas estimativas torna-se possível determinar a melhor estratégia de seleção. Os componentes genéticos de uma determinada característica e o quanto da sua variação é herdável, sem dúvida são os aspectos que possuem uma relação mais estreita a resposta a seleção (FALCONER e MACKAY, 1996).

Uma vez que o número de genótipos avaliados pelo método genealógico foi o dobro em relação aquele pelo método SPD a média geral do desempenho das linhagens (Tabela 1) passa a ser um parâmetro não representativo. Pelo exposto acima considerar-se-á que o método SPD é mais vantajoso em relação ao genealógico, quando o programa de melhoramento tem como foco a seleção para resistência ao complexo de percevejos e rendimento. Porém, se a média da população melhorada for tomada (Tabela 2), tem-se que os valores de PG e PSB obtidos pelo método genealógico são aqueles desejados pelo melhorista. Como ao melhorista interessa o potencial que a população tem para a extração de linhagens com excelente desempenho, fez-se uma comparação entre os dois métodos com base no número de linhagens com desempenho significativamente inferior, igual ou superior (diferença significativa $p < 0,05$ pelo teste t) para PG em relação as duas testemunhas comerciais comuns, Vmax e BMX Potência; e para PSB em relação ao padrão de resistência IAC-100.

Quando a comparação foi feita com base na testemunha BMX Potência, das 251 linhagens obtidas pelo método SPD 66% tiveram desempenho igual a testemunha; e as outras 34% tiveram desempenho inferior; enquanto que para o

método genealógico 85% das linhagens obtidas tiveram desempenho igual a essa cultivar para PG e apenas 15% com desempenho inferior.

Quando as comparações foram feitas com base na cultivar Vmax, o método genealógico possibilitou a obtenção de 3% das linhagens com desempenho superior de PG, enquanto que pelo método SPD apenas uma linhagem.

Comparando-se o desempenho das linhagens obtidas por ambos os métodos com o padrão de resistência, a cultivar IAC-100, ambos os métodos proporcionaram a identificação de 3,6% de linhagens com desempenho superior; isso representa um total de nove linhagens para o método SPD e 18 para o genealógico.

Tabela 2 – Componentes de variância, h^2 (herdabilidade), diferencial (Ds) e ganho de seleção (GS) para os caracteres NDM (número de dias para maturação), PEG (período de granação em dias), APM (altura da planta na maturação em cm), RF (retenção foliar em escala de nota variando de 1 a 5), VA (valor agrônomo em escala de nota variando de 1 a 5), AC (acamamento em escala de nota variando de 1 a 5), PG (produtividade total em kg ha⁻¹), peso de sementes boas (PSB em kg ha⁻¹) e PCS (peso de cem sementes em g) considerando dois métodos de condução de população segregante: genealógico e SPD (descendência de uma única vagem) e a seleção de 20% de progênies com base em PSB

Característica	Método de seleção	σ_g^2	σ_e^2	h^2	Ganho genético		
					Ds	GS	MM
NDM	Genealógico	4,485	3,446	0,796	0,148	0,118	112,41
	SPD	10,466	12,395	0,717	-0,154	-0,111	109,70
PEG	Genealógico	0,876	4,624	0,362	0,745	0,270	32,93
	SPD	12,905	33,759	0,534	0,240	0,128	34,05
APM	Genealógico	36,077	68,510	0,612	4,356	2,668	62,92
	SPD	72,467	63,414	0,774	3,671	2,842	57,68
RF	Genealógico	0,004	0,041	0,248	0,065	0,016	1,55
	SPD	0,038	0,050	0,693	-0,039	-0,027	1,55
VA	Genealógico	0,001	0,014	0,180	-0,035	-0,006	3,69
	SPD	0,013	0,032	0,553	0,251	0,139	4,13
AC	Genealógico	0,008	0,039	0,374	0,077	0,029	2,26
	SPD	0,016	0,053	0,482	-0,047	-0,023	1,52
PG	Genealógico	64397,000	277392,000	0,411	573,690	235,520	2849,51
	SPD	62828,000	194657,000	0,492	484,631	238,411	2085,54
PSB	Genealógico	58986,000	247947,000	0,416	566,670	235,998	2656,69
	SPD	59886,000	180080,000	0,499	484,371	241,901	1886,54
PCS	Genealógico	0,865	0,581	0,817	0,145	0,119	11,28
	SPD	1,996	0,924	0,866	-0,506	-0,438	10,21

* σ_g^2 variância genotípica; σ_e^2 variância residual e MM média da população melhorada.

Esses resultados mostram que a partir da população gerada podem ser extraídos genótipos com alelos de resistência ao complexo de percevejos e que mantenham altos patamares de produtividade, ou seja, cruzamento IAC-100 e CD-215 é promissor para o desenvolvimento de linhagens com resistência e alta produtividade, independentemente do método de condução de população segregante considerado.

McPherson et al. (2007) também avaliaram a resistência ao percevejo *Nezara viridula*, de 65 genótipos de soja, dentre estes alguns oriundos do cruzamento Hutcheson x IAC-100 ou IAC-100 x V71-370, e concluíram que aqueles que possuíam IAC-100 na genealogia apresentaram um menor número de sementes danificadas. Da mesma maneira Campos et al. (2010) avaliando diferente genótipos, verificaram que IAC-100, V000742, V00-0842 e V99-1685 demonstraram resistência quanto a alimentação pelo inseto, por apresentarem um menor número de picadas para a alimentação. Para as linhagens V00-0742, V00-0842, e V99-1685 genes oriundos da cultivar IAC-100 são as razões para que a resistência dessas linhagens fosse explicada.

A correlação simples entre os caracteres foi estimada para ambos os métodos de condução de população segregante (Tabela 3). A avaliação da associação entre características permite ao melhorista conhecer quais as mudanças que podem ocorrer em uma determinada característica, em função da seleção praticada em outro caráter (AGUIAR et al., 2008), e isto tem extrema importância no planejamento de um programa de melhoramento de sucesso.

O método genealógico apresentou um número maior de correlações significativas entre as características avaliadas do que o SPD. Da mesma forma, a estimativa de correlação foi mais acentuada entre PG x PSB, tão logo, por este método, sendo feita a seleção sob a presença de insetos, aqueles genótipos mais produtivos também poderão apresentar um maior peso de sementes boas, e isto não parece estar associado ao efeito de diluição de dano, proporcionado pela redução do PCS, uma vez que a correlação entre PSB e PCS é positiva.

Para ambos os métodos o VA tem correlação negativa com a RF, sendo essa associação mais forte pelo método SPD. O valor agrônômico é avaliado em escala de nota por ocasião da maturação das plantas na parcela. Considera-se para a avaliação o aspecto geral da parcela, sendo que a presença ou ausência de hastes verdes e retenção foliar é um dos pontos. Pelos resultados, fica nítido que a efeito

da retenção apresenta importante influencia na avaliação do valor agrônômico, quando se trabalha com resistência ao complexo de percevejos.

Tabela 3 – Coeficientes de correlações fenotípicas de Pearson entre os caracteres número de dias para a maturidade (NDM), altura da planta na maturidade (APM em cm), período de granação (PEG em dias), acamamento (AC em escala de notas), valor agrônômico (VA em escala de notas), produtividade de grãos (PG em kg ha⁻¹), peso de cem sementes (PCS em g), retenção foliar (RF em escala de nota) e peso sementes boas (PSB em kg ha⁻¹) considerando dois métodos de condução de população segregante: genealógico (abaixo da diagonal) e descendência de uma única vagem (SPD) (acima da diagonal)

	NDM	PEG	APM	RF	VA	AC	PG	PSB	PCS
NDM		0,394*	0,041	0,202*	-0,047	0,064	0,012	0,007	0,126*
PEG	0,198*		-0,061	0,193*	-0,101*	0,016	0,075*	0,079	0,201*
APM	0,050	0,053*		-0,076*	0,106*	0,372*	0,364*	0,352*	-0,226*
RF	0,150*	0,113*	0,098*		-0,480*	0,107*	0,035	0,013	0,364*
VA	-0,006	0,011	-0,114*	-0,243*		-0,456*	0,101*	0,120*	-0,274*
AC	-0,100*	0,027	0,382*	0,088*	-0,251*		0,097*	0,079*	0,010
PT	0,217*	0,277*	0,387*	0,162*	-0,017	0,118*		0,957*	-0,101*
PSB	0,223*	0,274*	0,359*	0,156*	0,011	0,092	0,982*		-0,140*
PCS	0,201*	0,239*	0,033	0,096*	0,001	-0,085*	0,337*	0,301*	

*Significativo pelo teste de t a 0,05 de probabilidade

A Tabela 4, indica que se o mesmo número de progênes for selecionado em ambos os métodos, os dois mostram eficiência idêntica, quanto a possibilidade de extração de linhagens que agreguem alto desempenho agrônômico e a resistência ao complexo de percevejos. Outro dado importante é quanto a origem em F₂. Entre as dez linhagens selecionadas, a de código 21 pelo método genealógico e de código 3 pelo método SPD são oriundas da mesma planta F₂ (planta código 3). O sucesso de um programa de melhoramento em um determinado período de tempo pode ser acessado pelo avanço genético observado nas características de interesse, considerando diferentes estratégias de seleção. Este tipo de informação permite a elaboração de estratégias, adoção de novas práticas de seleção e alocação eficiente dos recursos, aumentando a eficiência de programas de melhoramento (LANGE e FEDERIZZI, 2009).

Dado o exposto, o melhorista deve considerar além das médias e do ganho de seleção apresentados, o tempo e os recursos gastos com ambos os métodos, ou o ganho por unidade de tempo. No método genealógico as linhagens devem ser conduzidas sob condições representativas de cultivo, e para a seleção da resistência, será necessário a presença de percevejos em densidade populacional suficiente para a fenotipagem em mais estações de cultivo. Além da dependência do inseto, outro problema quanto ao avanço de endogamia e seleção simultânea para a

resistência a percevejos diz respeito a perda de linhagens. Se a densidade populacional dos insetos for elevada, podem ocorrer altos índices de retenção foliar e danos nas sementes, o que inviabiliza a colheita e tem-se a perda de linhagens. Quanto ao SPD um grande número de linhagens avançadas aleatoriamente, e a dependência de estruturas como casa de vegetação, por exemplo, pode tornar o método mais oneroso. Torna-se necessário que o melhorista pondere os prós e contra de cada método, considerando a disponibilidade de infraestrutura, mão-de-obra e recursos disponíveis.

Tabela 4 – Caracterização das dez melhores linhagens de soja selecionadas pelos métodos genealógico e descendência de uma única vagem (SPD), com base no peso de sementes boas (PSB em kg ha⁻¹)

Linhagem	NDM*	PEG	APM	RF	VA	AC	PG	PSB	PCS
Genealógico									
392 (138)**	109.63	37.52	67.94	1.97	4.11	1.47	3379.36	3225.51	9.57
439 (214)	109.59	34.22	57.61	1.38	3.93	1.98	3473.68	3223.27	11.23
21 (3)	109.88	35.88	67.78	1.57	4.10	2.23	3046.00	2913.71	10.89
332 (278)	110.78	35.89	54.48	1.65	4.03	1.78	3063.79	2888.98	9.98
126 (178)	110.22	35.40	64.05	1.76	3.76	2.04	3067.71	2880.35	9.67
290 (178)	112.61	36.73	66.86	2.47	3.96	1.92	3099.97	2839.40	10.36
292 (194)	110.46	33.77	65.94	1.33	3.99	1.73	2994.20	2839.19	12.37
471 (281)	110.46	34.83	64.37	1.64	4.01	1.73	3046.08	2800.33	12.85
14 (348)	100.76	35.55	71.25	1.90	3.37	2.41	3025.28	2760.82	9.89
91 (138)	112.12	34.99	73.03	1.40	3.86	1.82	3007.29	2741.75	10.39
Média	109.65	35.48	65.33	1.71	3.91	1.91	3120.34	2911.33	10.72
SPD									
105 (152)	110.92	53.26	54.68	0.92	4.11	1.93	3293.54	3122.71	9.76
73 (109)	113.56	34.28	72.03	2.42	3.02	3.19	3383.18	3096.59	11.79
126 (177)	110.31	36.49	69.50	1.44	3.33	2.81	3160.19	2995.80	11.22
120 (170)	110.32	33.13	74.30	1.96	3.33	2.18	3126.97	2978.46	11.07
195 (285)	108.22	27.73	64.85	0.94	4.12	2.30	3142.32	2910.45	10.59
144 (207)	109.42	30.74	65.15	1.60	3.34	2.66	3104.18	2842.08	12.75
154 (220)	108.62	28.72	65.43	1.70	3.36	2.05	2974.51	2783.14	12.23
3 (3)	110.70	36.26	56.53	1.15	3.76	1.81	2921.46	2767.79	10.81
172 (255)	112.17	31.03	66.23	1.93	3.37	2.73	2966.12	2756.87	8.87
49 (76)	111.98	29.71	64.08	1.31	3.66	2.00	3003.11	2755.52	12.34
Média	110.62	34.13	65.28	1.54	3.54	2.37	3107.56	2900.94	11.14

*NDM (número de dias para maturação); PEG (período de granação em dias), APM (altura da planta na maturação em cm); RF (retenção foliar em escala de nota variando de 1 a 5); VA (valor agrônomo em escala de nota variando de 1 a 5); AC (acamamento em escala de nota variando de 1 a 5); PG (produtividade total em kg ha⁻¹); e PCS (peso de cem sementes em g)

** O número entre parênteses representa a planta de origem F₂, que é a mesma para ambos os métodos.

4.4 Conclusões

O ganho de seleção (GS) foi de 235,52 e 238,41 kg ha⁻¹ para PG (produtividade de grãos) e 235,99 e 241,90 kg ha⁻¹ para o peso de sementes boas (PSB), segundo os métodos de condução de população segregante genealógico e descendência de uma única vagem (SPD), respectivamente.

Ambos os métodos SPD e genealógico foram eficientes na geração de progênies superiores para produtividade e resistência ao complexo de percevejos.

Quando os métodos foram comparados com base nas testemunhas comerciais e o padrão de resistência IAC-100, o genealógico se mostrou mais eficiente, gerando um maior número de linhagens com desempenho superior para resistência e produtividade.

Independentemente do método de condução de população segregante, o cruzamento CD-215 x IAC-100 apresenta potencial genético para a geração de progênies que aliem produtividade elevada e resistência ao complexo de percevejo.

Referências

- AGUIAR, R.S.; MODA-CIRINO, V.; FARIA, R.T.; VIDAL, L.H.I. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Semina**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2008.
- BILGIN, O.; KORKUT, K.Z.; BASER, I.; DAGLIOGLU, O.; OZTURK, I.; KAHRAMAN, T.; BALKAN, A. Genetic variation and interrelationship of morpho-physiological traits in durum wheat (*Triticum durum* (L.) Desf). **Pakistan Journal of Botany**, Karashi, v.43, n.1, p.253-260, 2011.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de Plantas**. 5 ed. Viçosa: UFV, 2009. 543p.
- CAMPOS, M.; KNUTSON, A.; HEITHOLT, J.; CAMPOS, C. Resistance to Seed Feeding by Southern Green Stink Bug, *Nezara viridula* (Linnaeus), in Soybean, *Glycine max* (L.) Merrill. **Southwestern Entomologist**, Weslaco, v.35, n.3, p.233-239, 2010.
- CARVALHO, F.I.F; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: UFPel, 2004. 142p.
- CHAHAL, G.S.; GOSAL S.S. **Principles and Procedures of Plant Breeding. Biotechnological and conventional approaches**. Pangbourne: Alpha Science, 2002. 604p.

COIMBRA, J.L.M.; KOPP, M.M.; SOUZA, V.Q.; BENIN, G.; MARCHIORO, V.G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Prediction of the genetic value in populations F_3 of *Avena sativa* L. using REML/BLUP. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.5, n.3, p.125-133, 2005.

COOPERATIVA CENTRAL AGROPECUÁRIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E ECONÔMICO LTDA - COODETEC - **Cultivar CD 215**. Disponível em: <http://www.coodetec.com.br/php/detalhes_cultivar.php?id=29>. Acesso em: 27 jan. 2015.

COOPER, M.; HAMMER, G. **Plant adaptation and crop improvement**. Oxford: CABI Publications, 1996. 608p.

CORRÊA-FERREIRA, B.S.; CASTRO, L.C. de; ROGGIA, S.; CESCINETTO, N.L.; COSTA, J.M. da; OLIVEIRA, M.C.N. de. **MIP-Soja**: resultados de uma tecnologia eficiente e sustentável no manejo de percevejos no atual sistema produtivo da soja. 2013. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/87596/1/Doc-341.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2014.

CORRÊA-FERREIRA, B.S.; KRZYZANOWSKI, F.C.; MINAMI, C.A. **Percevejos e a qualidade da semente de soja – Série Sementes**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 15p. (Embrapa Soja: Circular Técnica, 67).

CORRÊA-FERREIRA, B.S.; PANIZZI, A.R. **Percevejos da soja e seu manejo**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1999. 45p.

DEGRANDE, P.E.; VIVAN, L.M. Pragas da soja. In. YUYAMA, M.M.; SUZUKI, S.; CAMACHO, S.A. **Boletim de Pesquisa de Soja**. Rondonópolis: Fundação MT, 2007. v. 11, 274p.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4th .ed. Edinburgh: Longman Group, 1996. 464p.

FEHR, W.R. **Principle of Cultivars Development**. Macmillan publishing. New York: A division of Macmillan, 1987. 465p.

GODOI, C.R.C.; PINHEIRO, J.B. Genetic parameters and selection strategies of soybean genotypes resistant to stink bug complex. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 32, n. 2, p. 328-336, 2009.

GUEDES, J.V.C.; ARNEMANN, J.A.; STÜRMER, G.R.; MELO, A.A.; BIGOLIN, M.; PERINI, C.R.; SARI, B.G. Percevejos da soja: novos cenários, novo manejo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 1, p.28-34, 2012.

JUMBO, M.; WELDEKIDAN, T.; HOLLAND, J.B.; HAWK, J.A. Comparison of Conventional, Modified Single Seed Descent, and Doubled Haploid Breeding Methods for Maize Inbred Line Development Using Germplasm Enhancement of Maize Breeding Crosses. **Crop Science**, Madison, v. 51, p.1534–1543, 2011.

KANBAR, A.; KATSUHIKO, K.; SHASHIDHAR., H.E. Comparative efficiency of pedigree modified bulk and single seed descent breeding methods of selection for developing high-yielding lines in rice (*Oryza sativa* L.) under aerobic condition. **Electronic Journal of Plant Breeding**, Coimbatore, v.2, n.2, p. 184-193, 2011.

KENWARD, M.G.; ROGER, J.H. Small Sample Inference for Fixed Effects from Restricted Maximum Likelihood. **Biometrics**, Arlington, n. 53, v.3, p. 983–997, 1997.

LANGE, C.E.; FEDERIZZI, L.C. Estimation of soybean genetic progress in the south of Brazil using multi-environmental yield trials. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, n.3, p.309-316, 2009.

LARA, F.M. **Princípios de resistência de plantas a insetos**. 2ª ed. São Paulo: Ícone, 1991. 336p.

MCPHERSON, R.M.; BUSS, G.R.; ROBERTS, P.M. Assessing stink bug resistance in soybean breeding lines containing genes from germplasm IAC-100. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v.100, n. 4, p.1456-1463, 2007.

MILADONOVIC, J.; BURTON, J.W.; BALESEVIC TUBIC, S.; MILADINOVIC, D.; DJORDJEVIC, V.; DJUKIC, V. Soybean breeding: comparison of the efficiency of different selection methods. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 35, p. 469–480, 2011.

MÖLLER, M. **Mapeamento de locos de resistência quantitativa da soja ao complexo de percevejos**. 2010. 86p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior da Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MURTY, B.R. Selection of parental material, breeding methods and evaluation procedures in developing improved crop varieties. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, New Delhi, v.39, p. 305-314, 1979.

MUSSER, F.R. CATCHOT, A.L.; GIBSON, B.K.; KNIGHTEN, K.S. Economic injury levels for southern green stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) in R7 growth stage soybeans. **Crop Protection**, Amsterdam, v.30, n.1, p.63-69, 2011.

MUSSER, F.R.; LORENZ, G.M.; STEWART, S.D.; CATCHOT, JR, L. Soybean Insect Losses for Mississippi, Tennessee, and Arkansas. **Midsouth Entomologist**, Mississippi State, v.4, p.22-28, 2010.

OLIVEIRA, K.C de; DOMINQUINI, M.R.; PEREIRA, F.B.; SILVA, L.R.; VIEIRA, C.C.; PINHEIRO, J.B. Índice de seleção em soja visando resistência ao complexo de percevejos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7., 2013, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: SBMP, 2013. p. 2615 – 2617.

PANDINI, F.; VELHO, N.A.; LOPES, A.C.A. Heterosis in soybean for seed yield components and associated traits. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, n.4, v. 45, p. 401-412, 2002.

PANIZZ, A.R.; SLANSKY, F. Review of phytophagous pentatomids (Hemiptera: Pentatomidae) associated with soybean in the Americas. **The Florida Entomologist**, Lutz, v.68, n.1, p.184-214, 1985.

PIEPHO, H.P.; MÖHRING, J. Computing heritability and selection response from unbalanced plant breeding trials. **Genetics**, Berlin, v.177, n.3, p.1881-1888, 2007.

PRADO, E.P.; RAETANO, C.G.; AGUIAR-JÚNIOR, H.O.; CHRISTOVAM, R.S.; POGETTO, M.H.F.A.D.; GIMENES, M.J. Velocidade do fluxo de ar em barra de pulverização no controle químico de *Anticarsia gemmatilis*, Hübner e percevejos na cultura da soja. **Bragantia**, Campinas, v.69, n.4, p.995-1004, 2010.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B. SANTOS, J.B. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS M.C. (Ed.). **Recursos Genéticos e Melhoramento - Plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 201-230.

ROCHA, F.; BERMUDEZ, F.; FERREIRA, M.C.; OLIVEIRA, K.C.; PINHEIRO, J.B. Effective selection criteria for assessing the resistance of stink bugs complex in soybean. **Crop Breeding and applied Biotechnology**, Viçosa, v.14, n.3, p. 174-179, 2014.

ROSSETTO, C.J.; LARA, F.M. Diluição de dano, mecanismo de pseudo-resistência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 13., , 1991, Recife. **Resumos...** Recife: Sociedade Entomológica do Brasil, 1991. p.525.

ROSSETTO, C.J.; GALLO, P.B.; RAZERA, L.F.; BORTOLETTO, N.; IGUE, T.; MEDINA, P.F.; TISSELI, FILHO, O.; AQUILERA, V.; VEIGA, R.F.A.; PINHEIRO, J.B. Mechanisms of resistance to stink bug complex in the soybean cultivar IAC-100. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v.24, n.3, p. 517-522, 1995.

SANTOS, M.F. **Mapeamento de QTL e expressão gênica associados à resistência da soja ao complexo de percevejos**. 2012. 119p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SEARLE, S.; CASELA, G.; MCCULLOCH, C.E. **Variance components**. New York: John Willey, 1992. 501p.

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

SINGH, V.V.; SINGH, M.; CHAUHAN, J.S.; SINGH, D.; MEENA, M.L. Comparison of half-sib and full-sib progeny selection methods In indian mustard (*Brassica juncea* L.) under rainfed conditions. **SABRAO Journal of Breeding and Genetics**, Metro Manila, v. 46, n.1, p.81-88, 2014.

STÜRMER, G.R.; CARGNELUTTI-FILHO, A.; STEFANELO, L.S.; GUEDES, J.V.C. Eficiência de métodos de amostragem de lagartas e de percevejos na cultura de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 12, p. 2105-2111, 2012.

VIEIRA, R.M., LIMA, E.F. Resistência às pragas do algodoeiro. In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.). **O agronegócio de algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Algodão, 1999. v.1, p.317-360.