

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

Utilização de imagens na seleção de genótipos de soja resistentes ao complexo
de percevejos e com elevada qualidade fisiológica de sementes

Adriano Abreu Moreira

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

Piracicaba
2022

Adriano Abreu Moreira
Bacharel em Agronomia

Utilização de imagens na seleção de genótipos de soja resistentes ao complexo de
percevejos e com elevada qualidade fisiológica de sementes
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

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

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

Piracicaba
2022

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

Moreira, Adriano Abreu

Utilização de imagens na seleção de genótipos de soja resistentes ao complexo de percevejos e com elevada qualidade fisiológica de sementes / Adriano Abreu Moreira - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2022.

49 p.

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

1. Melhoramento de plantas 2. *Glycine max* 3. Fenômica 4. Vigor de sementes 5. *Hemiptera*: Pentatomidae I. Título

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho, primeiramente, à minha mãe
Fernanda, meu pai Manoel e meu irmão Rafael Abreu
Moreira por todo amor e suporte incondicional durante
minha vida. Dedico também ao Breno Silva e Rafael Pereira
(in memoriam), pessoas muito importantes para nós, e
serão sempre lembrados por mim.*

AGRADECIMENTOS

À minha família, que mesmo distante nesta época que vivemos, sempre se mostrou presente e solidária principalmente nos momentos mais difíceis.

Ao meu pai Manoel, madrasta Tânia e seu filho Rafael Pereira (in memoriam), pelo suporte, amor incondicional e por sempre compartilharem comigo todos os momentos dessa jornada.

À minha mãe Fernanda, obrigado pela dedicação e amor incondicional. Ao meu padrasto Breno (in memoriam), obrigado pelo carinho e cuidado com nossa família durante todos esses anos.

Ao meu irmão Rafael Moreira pelo apoio, amizade e exemplo de humildade e resiliência. Obrigado por fazer parte da minha vida.

À minha avó Lígia e meu tio Eliseu, pela sabedoria que possuem e pelos conselhos que me transmitiram, os quais contribuem para que alcance meus objetivos.

À minha avó Janete, meu avô Manoel e minha bisavó Nilza, que já se foram, mas me proporcionaram ótimos momentos e ensinamentos na infância, e continuam sendo inspiração na minha vida.

A todos os meus tios e tias, em especial Noeli e Ewandro, Natália, Luiza, Cristina, Liel e Aline por todo apoio e suporte.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Baldin Pinheiro, pela paciência, ensinamentos e confiança que tornaram possível o desenvolvimento deste trabalho. Pessoa a que tenho imensa gratidão e admiração.

À Maiara de Oliveira, a quem tive o prazer de conhecer durante o desenvolvimento deste projeto e que sem o apoio, companheirismo e dedicação nas horas mais difíceis não seria possível sua conclusão.

Aos demais colegas do Laboratório de Diversidade, Genética e Melhoramento de Plantas (DGM), sem os quais não teria conseguido atingir meus objetivos. Em especial à Patrícia Braga, Ash Burricks, Felipe Krause, Fernanda Campion e Larissa Chamma.

Às grandes amigas que tive o prazer em construir em Piracicaba durante essa jornada, em especial Marcelo Almeida de Oliveira Jr., Gabriel Braz Martins, Beatriz da Silva Vanolli, Gustavo Nandi, Christian Lopes, Givanildo Rodrigues Silva e Beatriz Cunha. Obrigado pelo companheirismo e amizade que me ajudaram a superar todos os obstáculos que surgiram.

Aos meus amigos de sempre, Leonardo Ferreira, Heitor Antônio e Edson Luz, obrigado pela parceria que mesmo com a distância não se perde.

A todos amigos de longa data da República Café e Viola, de Lavras – MG, em especial Ademilson Alecrim, Arthur Cruvinel, Eduardo Rezende e Pedro Menicucci, obrigado pela parceria e pelos momentos de descontração.

A todos os funcionários do Departamento de Genética, que foram essenciais para execução deste trabalho. Em especial ao Claudinei Didone, Marcio Silva, Isaias Monteiro, Guilherme Diehl e Claudio Segatelli.

Aos Professores Dr. Silvio Moure Cícero e Dr. Francisco Guilhien Gomes Jr. pelos ensinamentos, cooperação no desenvolvimento deste trabalho e acesso ao Laboratório de Análise de Imagens do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ para a fenotipagem das sementes.

Ao Laboratório de Tecnologia de Sementes do Departamento de Produção Vegetal, em especial à Técnica de Laboratório Helena Chamma e Profa. Ana D. L. Coelho Novembre, por todo apoio na realização da fenotipagem das sementes.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas pelos excelentes ensinamentos nas disciplinas do curso e demais atividades.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Genética, pelo fornecimento de toda infraestrutura e possibilidade de realização do curso de mestrado.

Aos membros da banca, titulares e suplentes, que aceitaram o convite para a defesa da dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo fomento da pesquisa e concessão da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Descrição da população e delineamento experimental	15
3.2. Fenotipagem.....	16
3.3. Análise de dados	19
3.3.1. Análise de variância.....	19
3.3.2. Obtenção dos BLUPs, coeficiente de correlação de Pearson e índice da distância entre genótipo-ideótipo (MGIDI).....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. Monitoramento da população de percevejos.....	21
4.2. Análise de variância e herdabilidade	22
4.3. Correlação e seleção dos caracteres relevantes.....	29
4.4. BLUPs e índice de seleção MGIDI.....	36
5. CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS.....	45

RESUMO

Utilização de imagens na seleção de genótipos de soja resistentes ao complexo de percevejos e com elevada qualidade fisiológica de sementes

Diversos estresses bióticos e abióticos limitam a produção da cultura da soja. Um dos principais insetos-praga que provocam grandes danos a cultura são os percevejos, em que várias espécies formam o complexo de percevejos da soja. Essa praga afeta diretamente a produtividade e a qualidade de grãos e sementes, acarretando sérios prejuízos aos agricultores e produtores de sementes. Com isso, o melhoramento genético de plantas tem como contribuição desenvolver genótipos resistentes de soja ao complexo de percevejos. Porém, a resistência a percevejos é uma característica complexa, de difícil identificação e seleção porque é composta por diversos mecanismos, que em sua maioria são controlados por muitos genes e altamente influenciados pelo ambiente. Objetivou-se avaliar a possibilidade de selecionar genótipos resistentes ao complexo de percevejos e com alta qualidade fisiológica de sementes a partir da área de dano e de caracteres morfológicos de sementes, assim como, explorar a relação entre esses caracteres e os demais já relacionados à resistência e à qualidade fisiológica de sementes. Os genótipos foram avaliados em quatro ambientes, sendo dois experimentos conduzidos no ano agrícola 2019/20 e dois no ano agrícola 2020/21. Em cada ano foram realizados dois manejos, sendo que, no Manejo 1 foi realizada a aplicação de inseticidas e no Manejo 2 não foi realizado o controle químico para possibilitar a infestação natural de percevejos. Os caracteres morfológicos das sementes foram obtidos por meio de imagens adquiridas após a colheita utilizando o software *Smart Grain*®, enquanto a área de danos nas sementes (DSE) foi estimada por meio da segmentação de imagens de sementes tratadas com sal de tetrazólio pelo pacote *Field Image R*. Os caracteres relacionados à qualidade fisiológica de sementes foram obtidos por meio da análise de imagens de plântulas no software *Vigor-S*. Foram avaliados também caracteres relacionados à resistência ao complexo de percevejos, como peso de sementes sem danos aparentes (PSD) e a tolerância (TOL), assim como caracteres de desempenho agrônômico, como a produtividade (PS) e altura de plantas na maturidade (APM). Foi realizada análise de variância conjunta para a identificação dos caracteres que apresentam diferenças estatísticas entre os Manejos e os Genótipos, além dos que apresentam interação entre manejo e genótipos. Em seguida foram estimados os valores genotípicos para cada caráter por meio do procedimento BLUP, na sequência, foram obtidos os coeficientes de correlação de Pearson para os BLUPs de cada característica. Por fim, os BLUPs foram utilizados no índice de seleção MGIDI com intensidade de 30%, sendo, uma seleção considerando os caracteres normalmente utilizados para a seleção de genótipos resistentes de soja e outra somente com os caracteres obtidos nas análises de imagens de sementes. Entre os caracteres mais promissores de acordo com a análise de variância pode-se destacar DSE e a razão entre comprimento e largura de sementes (LWR) que identificaram variabilidade significativa nos genótipos e entre os manejos. Com relação às correlações, DSE e LWR apresentaram correlações expressivas e significativas com caracteres relacionados à resistência e com índice de vigor (VIG). O índice de circularidade (CS) apresentou uma correlação positiva e significativa com PSD, enquanto a área média de sementes (AS) apresentou uma correlação significativa com massa de cem sementes (MCS). Foram selecionados quatro genótipos por índice MGIDI utilizado, sendo que foram selecionados três genótipos em comum entre os índices. Os resultados indicam que existe potencial a ser explorado na seleção de genótipos resistentes ao complexo de percevejos por meio de imagem de sementes, assim como a necessidade da realização de mais estudos relacionando os danos causados por percevejos, a morfologia de sementes após a colheita e a qualidade fisiológica de sementes.

Palavras-chave: Melhoramento de plantas, *Glycine max*, Fenômica, Vigor de sementes, Hemiptera: Pentatomidae

ABSTRACT

Use of images in the selection of soybean genotypes resistant to the stink bug complex and with high physiological seed quality

Several biotic and abiotic stress limits soybean production. One of the major pest insects are stink bugs species that form the soybean's stink bug complex. That pest directly affects yield, grain and seed quality, causing relevant losses to farmers and seed producers. Thus, plant breeding contributes by developing resistant soybean genotypes to the stink bug complex. However, this kind of resistance is complex, of difficult identification and selection, because it involves several traits and most of them are regulated by a high number of genes and are highly affected by the environment. The objective of this study was to assess the possibility of selecting resistant genotypes to the stink bug complex and superior seed quality using seed damaged area and morphological seed traits, as well as its relationship with traits already related to resistance and seed quality. The genotypes were evaluated in four environments, two experiments conducted in the 2019/20 growing season and two in the 2020/21 season. In each growing season there were two management practices, being that, the application of insecticides was carried out in Management 1 and in the Management 2, chemical control was not carried out to allow the natural infestation of stink bugs. The morphological traits were obtained by seed images acquired after harvest and analyzed with Smart Grain® software, while seed damaged area (DSE) was estimated by image segmentation of seeds treated with tetrazolium salt carried out with Field Image R package. Traits related to physiological seed quality were evaluated analyzing seedling images with Vigor-S software. Traits related to resistance to the sting bug complex were also evaluated, such as yield of healthy seeds (PSD) and tolerance (TOL), as well as agronomic traits, such as yield (PS) and height at maturity (APM). A joint variance analysis was performed to identify promising traits that would present statistical differences between genotypes, managements and interaction between these two factors. Next, the genotypic values for each trait were estimated by BLUP procedure, then Pearson's correlation coefficients were obtained whit each trait's BLUPs. Finally, the BLUPs were used to perform the multivariate index selection MGIDI with 30% selection intensity. One selection was performed with traits normally used to select resistant soybean genotypes and another with only traits obtained by seed image analysis. Among the most promising traits according to the joint analysis of variance, DSE and length to width ratio (LWR) can be highlighted, which identified significant variability between genotypes and managements. Regarding DSE and LWR correlations, they showed expressive and significant correlation with traits related to resistance and with vigor index (VIG). The circularity index (CS) had a positive and significant correlation with PSD and average seed area (AS) had a significant correlation with one hundred seed weight (MCS). Four genotyped were selected by MGIDI index, and three genotypes were selected in common between each selection performed. Results indicate that there is potential to be explored in selecting resistant genotypes to the stink bug complex by seed image analysis, as well as there is a need for further research relating the damage caused by stink bugs, seed morphology and physiological seed quality.

Keywords: Plant breeding, *Glycine max*, Phenomics, Seed vigor, Hemiptera: Pentatomidae

1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das principais culturas produzidas no mundo e de acordo com os resultados preliminares para a safra 2021/22 realizados pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (2022) a área ocupada foi de 130,18 milhões de hectares e produção de 349,37 milhões de toneladas, sendo que o Brasil foi responsável por quase 36% da produção mundial. O complexo da soja, que além do grão compreende também o óleo e o farelo, e é de grande importância socioeconômica para o país (GOLDSMITH, 2008). A cultura é produzida em todo Brasil, e os estados com maior produção são o Mato Grosso, Goiás e Paraná respectivamente segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (2022).

A semente é de extrema importância para a agricultura, sendo considerada um insumo indispensável, e o uso de sementes de alta qualidade é essencial para obtenção de altas produtividades (CANTARELLI et al., 2015). O estabelecimento de uma população adequada de soja e distribuição espacial uniforme na linha de plantio é o primeiro passo para obtenção dos resultados esperados de produtividade, e o vigor de sementes desempenha papel importante para o estabelecimento da cultura no campo. A redução da qualidade fisiológica de sementes aumenta a variação no desenvolvimento entre as plantas de uma determinada área semeada, com isso, a produtividade é afetada devido à baixa capacidade de plantas geradas por sementes de baixo vigor em resistirem a estresses (BAGATELI et al., 2019; CANTARELLI et al., 2015; KRZYZANOWSKI; FRANÇA-NETO; HENNING, 2018).

Diversos fatores bióticos e abióticos são responsáveis pela diminuição do vigor de sementes de soja como danos mecânicos, danos por umidade e danos causados por insetos. Os principais insetos causadores de danos que afetam diretamente o vigor das sementes de soja são os percevejos (*Hemiptera: Pentatomidae*), em que várias espécies ocorrem no Brasil, como o percevejo marrom (*Euschistus heros*), percevejo verde (*Nezara viridula*), percevejo barriga-verde (*Dichelops* spp.) e o percevejo verde pequeno (*Piezodorus guildinii*) que formam o denominado complexo de percevejos (CONTE et al., 2019; KRZYZANOWSKI; FRANÇA-NETO; HENNING, 2018). O manejo de percevejos atualmente é realizado principalmente por meio de controle químico, utilizando inseticidas de amplo espectro como os organofosforados, neonicotinóides, piretróides e suas misturas (KOCH et al., 2017; SOSA-GÓMEZ et al., 2019).

Na implementação do Manejo Integrado de Pragas (MIP) são estabelecidos níveis de controle por meio de amostragem com pano de batida, incluindo o interior e as extremidades da área realizadas aleatoriamente. Atualmente é recomendado realizar as práticas de controle químico quando são amostrados dois ou mais percevejos maiores que 0,3 cm por metro linear quando a lavoura é destinada para produção de grãos, ou um ou mais percevejos maiores que 0,3 cm por metro linear quando a lavoura é destinada para produção de sementes (CONTE et al., 2019). Todavia, muitos agricultores realizam o controle de percevejos com base no estágio fenológico predominante da lavoura, o que pode acarretar falhas no controle da praga quando a população de percevejos na área já ultrapassou ou ainda está abaixo

do nível de dano econômico (SOSA-GÓMEZ et al., 2019). Outra consequência de aplicações sistemáticas de inseticidas é a ocorrência de insetos tolerantes, devido ao número reduzido de princípios ativos disponíveis no mercado, com diferentes modos de ação e deficiências na tecnologia de aplicação (BUENO et al., 2013).

Com isso, uma alternativa para evitar falhas no controle da praga é a utilização de cultivares resistentes, que é um mecanismo de controle de insetos que pode ser aplicado em conjunto com práticas do MIP sem apresentar custo direto de implementação (SILVA et al., 2013). Seu emprego possibilita o aumento da população de insetos para que se atinja o nível de dano econômico, o que consequentemente reduz o número de aplicações de inseticidas na lavoura, diminuindo custos, possíveis contaminações ambientais e pressão de seleção para resistência da praga ao inseticida (GODOI et al., 2002; SMITH; CLEMENT, 2012). Entretanto, a resistência da soja ao complexo de percevejos é uma característica complexa, composta por um grande número de características morfológicas e metabólicas da planta, altamente influenciadas pelo ambiente, e com isso de difícil identificação e implementação em programas de melhoramento (BOETHEL, 1999; ROSSETTO et al., 1995).

Nessa circunstância, a utilização de novas tecnologias na fenotipagem de características relacionadas à resistência à percevejos e à qualidade fisiológica de sementes se torna importante. As imagens de diferentes características das plantas vêm sendo amplamente utilizadas na última década na fenotipagem de alto rendimento com diferentes propósitos, como demonstrado por Li, Zhang e Huang (2014). Os principais objetivos na utilização dessas imagens são a obtenção de variáveis quantificáveis, ou seja, sem a subjetividade da parte humana presente na fenotipagem convencional e a obtenção de informações com mais eficiência e com maior automatização dos processos.

Com isso, identificar caracteres relacionados a essas características complexas e que apresentem alto rendimento de fenotipagem é uma alternativa para que programas de melhoramento aumentem a eficiência na seleção de genótipos de soja. Portanto, objetivou-se avaliar a possibilidade de selecionar genótipos resistentes ao complexo de percevejos e com alta qualidade fisiológica de sementes a partir da área de dano e de caracteres morfológicos de sementes, assim como, explorar a relação entre esses caracteres e os demais já relacionados à resistência e à qualidade fisiológica de sementes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A soja é a cultura de maior importância econômica no Brasil, destacando-se juntamente com os EUA como os maiores produtores da cultura no mundo, obtendo uma produção na safra 2021/2022 estimada em 125 milhões de toneladas, e produtividade de 3,06 t.ha⁻¹ (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2022). Devido ao melhoramento da cultura e novas técnicas de manejo, a soja se expandiu para diferentes regiões do país. Atualmente é cultivada em todas as regiões do Brasil, favorecendo o surgimento de diversos insetos pragas e patógenos que causam grandes prejuízos por perda de produtividade e qualidade dos grãos (BOERMA; WALKER, 2005). Os percevejos causam grandes perdas de produtividade, chegando a 125 kg.ha⁻¹, quando considerado uma população de um percevejo por metro linear (GUEDES et al., 2012)

A maioria das espécies que compõem o complexo de percevejos no Brasil se alimentam principalmente das vagens, podendo também se alimentar das demais partes da planta. Assim, sua atividade pode causar perdas de produtividade, e afetam consideravelmente a qualidade de grãos e sementes (SOSA-GÓMEZ et al., 2019). Nas sementes os percevejos se alimentam por meio da injeção de secreções salivares, contendo enzimas digestivas, pectinases e amilase, em seguida sugam a mistura de saliva e componentes celulares liberados pela ruptura das células (DEPIERE; PANIZZI, 2011; SILVA et al., 2012). Os danos causados por percevejos, adultos e ninfas de terceiro a quinto instar, em soja variam principalmente de acordo com o estágio fenológico do ataque. Segundo a escala proposta por Fehr e Caviness (1977) ataques que ocorrem entre R3 e R6 podem causar a formação de vagens chochas, aborto de vagens e de sementes, desenvolvimento de sementes deformadas e ou manchadas (devido a ação do fungo *Eremothecium coryli*, geralmente inoculado durante a picada do percevejo) e retenção foliar, conhecido como “soja louca”. Infestações que ocorrem a partir do estágio de desenvolvimento R7 não apresentam perda significativa de rendimento de grãos ou retenção foliar, entretanto a qualidade fisiológica de sementes é severamente comprometida (KOCH et al., 2017; SCOPEL et al., 2016; VYAVHARE et al., 2015; VYAVHARE; WAY; MEDINA, 2015).

A resistência de plantas a insetos pode ser classificada em três principais categorias, a antibiose, em que a planta afeta a sobrevivência, desenvolvimento ou a reprodução de um inseto, a antixenose ou não-preferência que é caracterizada pela presença de fatores morfológicos e/ou químicos nas plantas que afetam o comportamento dos insetos que colonizam a planta, e tolerância, caracterizada pela capacidade da planta recuperar de injúrias causadas por um inseto sem afetar sua biologia ou comportamento (SMITH; CLEMENT, 2012). Entretanto características que conferem principalmente tolerância aos ataques de percevejo não garantem que danos irreversíveis que comprometam o vigor das sementes ocorram. Com isso, existe a necessidade de estudos que relacionem mecanismos de resistência de soja ao complexo de percevejo e seu efeito no vigor de sementes produzidas com infestação natural da praga no ambiente.

Existem diferentes características agronômicas e fisiológicas de plantas de soja relacionadas com cada tipo de resistência. Características de antibiose, como uma maior distância entre as sementes e a parede da vagem, a existência de compostos antinutricionais e/ou compostos químicos secundários que afetam o desenvolvimento do inseto, foram descritas por Silva et. al. (2013) em que a taxa de mortalidade de ninfas e o tempo de duração de instar foram maiores em genótipos resistentes quando comparados com genótipos suscetíveis sob infestação. Já o período curto de enchimento de grãos, maior número de sementes por planta, aborto de vagens danificadas e emissão de novas vagens, senescência normal das folhas na maturação, resistência a *E. coryli* e sementes de tamanho reduzido estão entre os caracteres agronômicos que podem ser classificados nas categorias de antixenose e/ou tolerância (MCPHERSON; BUSS; ROBERTS, 2007; ROCHA et al., 2014; ROSSETTO et al., 1995; WADA; ENDO; TAKAHASHI, 2006).

Rossetto et. al. (1995) identificou resistência da cultivar IAC-100 ao complexo de percevejos por meio do índice de porcentagem de vagens danificadas, porcentagem de retenção foliar e número de vagens por planta. McPherson, Buss e Roberts (2007) avaliaram a resistência em germoplasma contendo genes da IAC-100 e identificaram que a porcentagem de sementes danificadas avaliada visualmente a partir de uma amostra de 100 sementes foi eficiente na identificação de genótipos resistentes. Já Pinheiro et. al. (2005) e Godoi e Pinheiro (2009) confirmaram a eficiência do uso do índice de porcentagem de vagens danificadas na seleção de genótipos resistentes em gerações iniciais de autofecundação e recomendaram a utilização de caracteres como menor período de enchimento de grãos, retenção foliar, porcentagem de sementes manchadas e massa de 100 grãos para identificação de resistência em genótipos de soja. Recentemente Souza et. al. (2016) avaliou a resposta de genótipos de soja sob infestação de percevejos por meio da classificação de danos em amostras de 50 sementes por parcela e em associação com a avaliação de produtividade e retenção foliar também obteve sucesso em identificar genótipos resistentes.

A seleção de genótipos resistentes utilizando estratégias como o índice de porcentagem de vagens danificadas e porcentagem visual de sementes danificadas, é trabalhosa e subjetiva, o que dificulta a avaliação de um grande número de genótipos. A utilização de peso de sementes sem danos aparentes de percevejo após separação utilizando o separador em espiral mostrou-se promissor na classificação de genótipos quanto à resistência ao complexo do percevejo, principalmente por também selecionar indiretamente para produtividade e por necessitar da condução de experimentos apenas sob infestação natural (ROCHA et al., 2014, 2015; SANTOS et al., 2018). O separador em espiral apesar de ser eficiente na separação de sementes pelo formato (RISSE, 1990), tem eficiência limitada de acordo com o tipo de tecnologia empregado no equipamento. Portanto, também existe a necessidade de desenvolver um novo método de identificação de danos de percevejo que considere a qualidade de sementes obtidas e apresente alto rendimento de fenotipagem para aplicação em um programa de melhoramento de plantas.

Como a porcentagem de sementes danificadas e o índice de porcentagem de vagens danificadas foram variáveis que propiciaram uma boa identificação de genótipos resistentes, a utilização de caracteres obtidos por meio da análise de imagens de sementes se mostrou promissora. Liu et. al. (2015) desenvolveu um sistema de identificação e seleção de sementes danificadas por diversos tipos de danos por meio de

métodos utilizando inteligência artificial. Para categoria de danos por insetos a eficiência da separação das sementes foi de 98%. Danos mecânicos e danos causados por percevejos em imagens de soja também já foram observados e descritos por meio de imagens de raios X de sementes de soja (PINTO et al., 2009, 2012). Já Leite et. al. (2009) conseguiu identificar eficientemente a viabilidade de sementes de pinhão manso por imagens de raios X e teste de tetrazólio. Portanto existem evidências de que é possível a identificação de sementes danificadas por meio do uso de análise de imagens.

Segundo Marcos-Filho (2015) entende-se por vigor de sementes “a interação de características independentes de atributos fisiológicos como velocidade de germinação, crescimento de plântula, habilidade de germinar acima ou abaixo de temperaturas ótimas e outros aspectos de tolerância a estresses”. Dias et al. (2011) ao analisar o desempenho de lotes de sementes de soja com diferentes níveis de vigor não encontrou relação direta entre produtividade e vigor de sementes. Entretanto ao cultivar os mesmos lotes em condições sem controle de plantas daninhas, parcelas originadas de lotes classificados como baixo vigor apresentaram produtividade consideravelmente menor e o acúmulo de matéria seca de plantas daninhas foi maior. Já Bagateli et al. (2019) observou que a cada ponto percentual de aumento de vigor no teste de envelhecimento acelerado é obtido um aumento na produtividade de 28 kg por hectare e Tavares et al. (2013) ao analisar o rendimento e a qualidade fisiológica de sementes da geração F1 sob déficit hídrico observou que sementes de alto vigor acarretam rendimento de sementes superiores a 15%.

Um método amplamente utilizado para se obter estimativas de vigor é o teste de tetrazólio. Ele determina indiretamente a atividade respiratória nas células por meio da reação de redução do sal de tetrazólio, com isso, tecidos considerados vigorosos terão coloração vermelho carmim claro, tecidos menos vigorosos apresentaram um vermelho intenso e tecidos mortos não apresentam coloração pois a reação não acontece (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018). Neste tipo de teste é possível identificação de diferentes tipos de danos nas sementes. A diferença da coloração entre tecidos mortos e tecidos vigorosos permite fácil segmentação de imagens, o que pode ser utilizado para identificar e quantificar a área danificada nas sementes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da população e delineamento experimental

O Programa de Melhoramento de Soja do Laboratório de Diversidade, Genética e Melhoramento da ESALQ/USP, desenvolveu a partir de 2007/08 uma população de 251 linhagens endogâmicas recombinantes (Recombinant Inbred Lines - RILs) com características de resistência ao complexo de percevejos. Na execução dos experimentos desenvolvidos neste trabalho, a população se encontrava em geração F₁₄ no ano 2019/20 e F₁₅ em 2020/21. As RILs derivam do cruzamento entre as cultivares IAC-100 e CD-215. O parental IAC-100 apresenta resistência, enquanto o parental CD-215 apresenta susceptibilidade ao complexo de percevejos.

Com isso, foram selecionadas dessa população, 12 linhagens contrastantes para resistência e susceptibilidade ao complexo de percevejos e para alta e baixa qualidade fisiológica de sementes. As cultivares parentais também foram incluídas nos experimentos que contaram com 14 genótipos que podem ser classificados em cinco grupos, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Classificação de genótipos quanto a qualidade fisiológica de sementes e resistência ao complexo de percevejos.

Genótipos	Grupos
IAC-100 e CD-215	1: parentais
R-109, R-186 e R-227	2: alta qualidade fisiológica de sementes e resistentes ao complexo de percevejo
R-007, R-241 e R-249	3: alta qualidade fisiológica de sementes e suscetíveis ao complexo de percevejo
R-119, R-144 e R-179	4: baixa qualidade fisiológica de sementes e resistentes ao complexo de percevejo
R-036, R-113 e R-147	5: baixa qualidade fisiológica de sementes e suscetíveis ao complexo de percevejo

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições e dois experimentos com manejos diferentes para cada ano agrícola, totalizando quatro experimentos conduzidos. No Manejo 1 foram realizados todos os tratos culturais recomendados para a cultura enquanto no Manejo 2 realizou-se todos os tratos culturais recomendados para a cultura com exceção do controle químico de insetos para possibilitar a infestação natural de percevejos. Para verificar o nível de infestação de percevejos no Manejo 2 foi realizado amostragem semanal por meio do método do pano de batida realizado aleatoriamente na área a partir do estágio fenológico R3, obtendo assim o número médio de percevejos por metro (percevejos/m), dividindo o número de indivíduos amostrados, ninfas de terceiro instar e acima e indivíduos adultos, pelo número de panos de batida realizados na área experimental. A frequência relativa do número absoluto de indivíduos de percevejos foi obtida a partir da soma de todos

os indivíduos amostrados de uma espécie dividido pelo total de indivíduos amostrados (FEHR; CAVINESS, 1977; KOGAN; PITRE, 1980).

Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental de Genética – Anhumas, no Distrito de Anhumas em Piracicaba – SP. O Distrito de Anhumas possui altitude média de 445 metros (m), temperatura média anual de 22,8 °C e pluviosidade média anual de 1290,7 milímetros (mm). A semeadura foi realizada nos dias 3 de dezembro de 2019 para o primeiro ano agrícola, já no segundo ano foi realizada nos dias 24 e 25 de novembro de 2020 para o Manejo 2 e Manejo 1 respectivamente. As parcelas experimentais foram semeadas com dimensões de 2 linhas de 4 m de comprimento, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e densidade de semeadura de 15 sementes/m.

3.2. Fenotipagem

Os genótipos foram avaliados por meio de caracteres agronômicos, caracteres relacionados à resistência ao complexo de percevejos, caracteres morfológicos das sementes e índices relacionados à qualidade fisiológica de sementes.

Os caracteres de desempenho agronômicos avaliados foram:

1. Número de dias para florescimento (NDF): Número de dias da semeadura até o florescimento da primeira flor, estágio de desenvolvimento R1 (FEHR; CAVINESS, 1977), de 90% das plantas da parcela;
2. Número de dias para maturidade (NDM): Número de dias da semeadura até a maturidade (R8) em que 90% das plantas da parcela apresentou 95% das vagens maduras;
3. Altura de plantas na maturidade (APM): Média da altura da base até a ponta da haste principal em centímetros (cm) de três plantas por parcela aferidas no estágio R8;
4. Valor Agronômico (VA): Avaliado em R8, com base em escala de nota visual de 1 a 5, sendo 1 para planta de baixo valor agronômico e 5 para plantas com excelentes características agronômicas, por exemplo, grande número de vagens, altura maior que 70 cm, alto vigor, sem acamamento, vagens sem deiscência e ausência de sintomas de doenças;
5. Produtividade de sementes (PS): Massa total de sementes produzidos na parcela, corrigidas para teor de água de 13% após aferição da mesma por meio de um medidor portátil de teor de água. Em seguida, convertida em quilogramas por hectare ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Os caracteres avaliados com relação à resistência ao complexo de percevejos foram:

1. Período de enchimento de sementes (PES): Diferença em número de dias dos estádios de desenvolvimento R5 e R7. Cada estágio foi registrado no momento em que foi identificado em 90% das plantas da parcela e calculados com base na data de semeadura;
2. Retenção foliar (RF): Avaliado em R8, em uma escala de notas visuais que variam de 1 a 5, sendo 1, presença de poucas folhas verdes e 5, presença de várias hastes e folhas verdes, nível em que a colheita é impraticável;

3. Massa de 100 sementes (MCS): Massa de 100 sementes em gramas (g), de uma amostra ao acaso da parcela colhida com teor de água padronizado a 13%;
4. Produtividade de sementes sem danos aparentes de percevejo (PSD): Produtividade de sementes em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ consideradas saudáveis após serem processadas pelo separador em espiral, com teor de água corrigido a 13%, para os experimentos conduzidos com o Manejo 2;
5. Tolerância (TOL): Porcentagem de sementes sem danos aparentes de percevejos calculado para cada parcela no Manejo 2, de acordo com a equação:

$$TOL = \left(1 - \frac{PS-PSD}{PS}\right) * 100 \quad (1)$$

6. Dano nas sementes (DSE): Porcentagem de dano identificada nas sementes por meio de segmentação de imagens. Foram amostradas 150 sementes por parcela após a colheita, para o Manejo 1 e após o processamento no separador espiral para o Manejo 2. Em seguida a amostra foi dividida em três repetições de 50 sementes. Nas instalações do Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, cada repetição foi tratada com sal de tetrazólio em concentração 0,75% por três horas a 40 °C. Em seguida as sementes foram cortadas e posicionadas lado a lado em folha E.V.A. azul. As imagens RGB em extensão JPG foram adquiridas no Laboratório de Análise de Imagens do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ com câmera fotográfica Cannon[®] EOS Rebel T6 (ISO-100; f\4,5; 1\125s) a uma altura fixa de 30 cm com auxílio de dois painéis de luzes fluorescentes brancas posicionados perpendicularmente em relação à câmera. O processamento das imagens foi realizado no software R versão 4.1.2 para sistema operacional Windows utilizando o pacote *Field Image R* (MATIAS; CARAZA-HARTER; ENDELMAN, 2020; R CORE TEAM, 2021). Foram obtidas a porcentagem de dano nas sementes para três índices de segmentação diferentes de acordo com as equações (2), (3) e (4):

Overall Hue Index (hue) disponível no pacote *Field Image R* (DSE_hue):

$$HUE = \text{atan}\left(2 * \frac{B-G-R}{30,5*G-R}\right) \quad (2)$$

Excess Red (ExR,) (MEYER; NETO, 2008) (DSE_r):

$$ExR = 1,4 * R - G \quad (3)$$

E o índice da diferença entre *Excess Green* (ExG) e ExR (MEYER; NETO, 2008) (DSE_gr):

$$ExG - ExR = (2 * G - R - B) - (1,4 * R - G) \quad (4)$$

em que B representa a banda azul da imagem, R a vermelha e G a verde.

Os caracteres relacionados à morfologia das sementes foram obtidos anteriormente ao DSE a partir da mesma amostra de 150 sementes por parcela. As sementes foram dispostas no *scanner* HP *Scanjet* G2410 e escaneadas em fundo preto com disposição de escala de 100 mm para calibração das imagens na análise. As imagens foram adquiridas em formato TIF com resolução de 300 dpi e em seguida analisadas com o software *SmartGrain*[®], obtendo-se os caracteres de acordo com Tanabata et al. (2012), e ilustrados na Figura 1, sendo:

1. Área média de sementes (AS, mm²);
2. Comprimento médio do perímetro de sementes (PL, mm);
3. Comprimento médio de sementes (L, mm);
4. Largura média de sementes (W, mm);
5. Razão entre comprimento e largura das sementes médio (LWR), dado pela equação:

$$LWR = \frac{L}{W} \quad (5)$$

6. Índice de circularidade médio (CS), calculado pela fórmula:

$$CS = \frac{4\pi \cdot AS}{PL^2} \quad (6)$$

7. Distância entre a interseção do comprimento com a largura e o centro de gravidade médio (DS, mm).

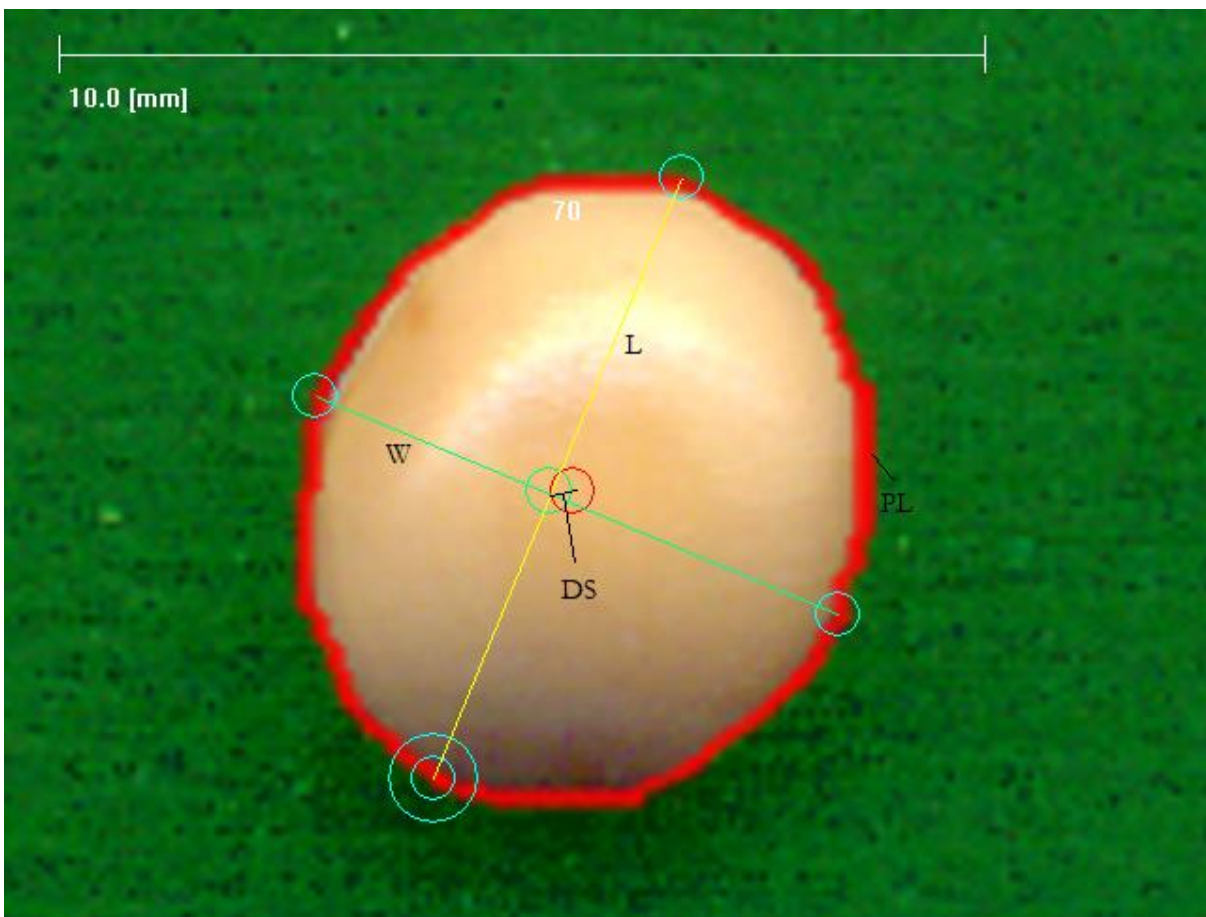


Figura 1. Descrição dos caracteres morfológicos de sementes de soja obtidos por meio do software *SmartGrain*[®]. A área da semente (AS) é definida pela área interna ao comprimento do perímetro (PL), que por sua vez corresponde ao comprimento da linha vermelha contornando a semente. O comprimento da semente (L) corresponde ao maior eixo da semente indicado pela linha amarela, enquanto a largura (W) é o eixo perpendicular a L, indicado pela linha verde. O círculo em verde no interior da semente corresponde à interseção do comprimento com a largura e o círculo em vermelho no interior da semente corresponde ao centro de gravidade, ambos são utilizados para o cálculo da distância entre eles (DS).

Os caracteres relacionados à qualidade fisiológica de sementes foram obtidos a partir de 60 sementes por parcela amostradas após a colheita dos experimentos do Manejo 1 e após o processamento

no separador em espiral dos experimentos conduzidos com o Manejo 2. Em seguida, a amostra foi dividida em três repetições de 20 sementes por parcela. Os demais procedimentos foram realizados no Laboratório de Análise de Sementes e no Laboratório de Análise de Imagens e seguiram as recomendações de Rodrigues, Gomes-Júnior e Marcos-Filho (2020) para a utilização do sistema de Análise Automatizada do Vigor de Sementes (*Vigor-S*). Os caracteres analisados no *Vigor-S* foram:

1. Índice de vigor (VIG): Índice médio de vigor para cada repetição com valores que variam de 0 a 1.000;
2. Índice de crescimento (CRE): Índice médio de crescimento para cada repetição com valores que variam de 0 a 1.000;
3. Índice de uniformidade (UNI): Índice médio de uniformidade para cada repetição com valores que variam de 0 a 1.000;
4. Porcentagem de sementes germinadas (GER): Porcentagem de sementes germinadas em cada repetição de 20 sementes;
5. Comprimento de plântulas (COM): Comprimento médio de plântulas para cada repetição em cm.

3.3. Análise de dados

3.3.1. Análise de variância

Os dados obtidos foram analisados por meio do software R versão 4.1.2, utilizando o pacote metan versão 1.16.0.9000 (OLIVOTO; LÚCIO, 2020; R CORE TEAM, 2021). Inicialmente foi realizada análise individual dos experimentos para cada caráter avaliado, a fim de identificar se atendiam os pressupostos necessários para a realização da análise conjunta. A análise de variância conjunta e teste de F, quando possível, foram realizados considerando os experimentos dois a dois dentro de cada ano agrícola por meio do seguinte modelo matemático:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + (\alpha\tau)_{ij} + \gamma_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (7)$$

em que y_{ijk} representa a variável resposta observada no bloco k do genótipo i no manejo j; μ é o intercepto do modelo; α_i é o efeito do genótipo i; τ_j o efeito do manejo j; $(\alpha\tau)_{ij}$ o efeito da interação entre o genótipo i e manejo j; γ_{jk} é o efeito do bloco k dentro do manejo j; e $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ o efeito aleatório do resíduo. Para o caráter PSD foi utilizado o mesmo modelo, mas j representa o ano agrícola, uma vez que esse caráter foi obtido apenas nos experimentos conduzidos nas condições do Manejo 2.

Para o caráter TOL foi utilizado o modelo matemático representado na equação 8 para análise individual de cada experimento, uma vez que foi constatado que não houve homogeneidade entre os resíduos dos experimentos em que o caráter foi obtido.

$$y_{ik} = \mu + \alpha_i + \gamma_k + \varepsilon_{ik} \quad (8)$$

em que y_{ik} representa a variável resposta observada no bloco k do genótipo i; μ é o intercepto do modelo; α_i o efeito do genótipo i; γ_k é o efeito do bloco k; e $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ o efeito aleatório do resíduo.

A herdabilidade no sentido amplo (H2) e o coeficiente de variação (CV) foram estimados como o descrito por Olivoto e Lúcio (2020).

3.3.2. Obtenção dos BLUPs, coeficiente de correlação de Pearson e índice da distância entre genótipo-ideótipo (MGIDI)

Para obtenção dos BLUPs de cada variável, foi utilizado a abordagem de modelos mistos em que cada combinação entre manejo e ano agrícola foi considerado um ambiente, totalizando quatro ambientes. Com isso, o seguinte modelo estatístico foi utilizado:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + (\alpha\tau)_{ij} + \gamma_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (9)$$

em que y_{ijk} representa a variável resposta observada no bloco k do genótipo i no ambiente j; μ é o intercepto do modelo; $\alpha_i \sim N(0, \sigma^2)$ o efeito aleatório do genótipo i; τ_j o efeito do ambiente j; $(\alpha\tau)_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ o efeito aleatório da interação entre o genótipo i e ambiente j; γ_{jk} é o efeito do bloco k dentro do ambiente j; e $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ o efeito aleatório do resíduo. Para os caracteres PSD e TOL, os BLUPs foram obtidos considerando o mesmo modelo, mas com apenas dois ambientes, conduzidos nas condições do Manejo 2.

Após realizar a predição dos valores genotípicos para cada caráter, os BLUPs foram utilizados para obtenção dos coeficientes de correlação de Pearson utilizando a função `corr_coef()` do pacote `metan` (GIORDANI et al., 2022; OLIVOTO; LÚCIO, 2020), já o índice MGIDI foi obtido no mesmo pacote como descrito por Olivoto e Nardino (2021).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Monitoramento da população de percevejos

As amostragens populacionais dos percevejos foram realizadas semanalmente, totalizando 8 amostragens em cada ano agrícola. Nas amostragens, foram identificadas as espécies *E. heros*, *P. guildinii*, *N. viridula*, *E. meditabunda* e *D. furcatus*, como também foi observado em outros experimentos conduzidos no Estado de São Paulo por Souza et. al. (2016). A frequência relativa do número absoluto de indivíduos de *N. viridula*, *E. meditabunda* e *D. furcatus* se manteve similar entre um ano e outro, não passando de 0,030 dos indivíduos observados (Tabela 2). No ano agrícola 2019/20 foi observado uma frequência relativa maior de ninfas, *P. guildinii* e *E. heros* respectivamente, já no ano 2020/21 a frequência de *E. heros* foi de cerca de cinco vezes maior que ninfas e oito vezes maior que *P. guildinii*. O *E. heros* é o mais abundante no Brasil e apresenta uma maior capacidade de competição interespecífica em relação ao percevejo da espécie *P. guildinii* (TUELHER et al., 2016), o que pode ser o motivo de maior predominância dessa espécie em 2020/21. Entretanto *P. guildinii* tem um maior potencial em causar danos, principalmente relacionados à qualidade fisiológica de sementes e vagens vazias (CORRÊA-FERREIRA; DE AZEVEDO, 2002; DEPIERI; PANIZZI, 2011; MUSSER et al., 2011; VYAVHARE; WAY; MEDINA, 2015).

Tabela 2. Frequência relativa do número absoluto de indivíduos e espécies do complexo de percevejo amostrados pelo método do pano de batida nos anos agrícolas avaliados.

Ano agrícola	<i>E. heros</i>	<i>P. guildinii</i>	<i>N. viridula</i>	<i>E. meditabunda</i>	<i>D. furcatus</i>	Ninfas*
2019/20	0,141	0,304	0,008	0,011	0,030	0,506
2020/21	0,725	0,090	0,007	0,004	0,026	0,149

*Não houve classificação de espécies de ninfas

A flutuação populacional média de percevejos/m, em geral, foi ascendente nos dois anos agrícolas avaliados, o que normalmente ocorre devido à semeadura relativamente tardia e a consequente migração dos percevejos a partir de áreas vizinhas (LOPES et al., 1997; SANTOS et al., 2018). Na Figura 2 é possível observar que para o ano 2019/20 a população de percevejos atingiu nível próximo ao nível de controle recomendado para produção de sementes na quarta semana de amostragem. Da quinta semana em diante, o nível populacional nesse ano se manteve acima do nível de ação de controle, com um pico de cinco percevejos/m na sexta semana. Ao fim do ciclo da cultura, houve um decréscimo na população, chegando a 3,2 percevejos/m. Bueno et. al. (2013) observou uma predominância de *E. heros* em seus estudos e obteve reduções significativas de produtividade em uma safra, com população máxima de cerca de sete percevejos/m e reduções significativas de embriões viáveis com um pico de cerca de cinco percevejos/m. Por sua vez, Vyavhare et. al. (2015) obteve reduções significativas de produtividade com pouco mais de três percevejos por metro ao avaliar o desenvolvimento de vagens chochas em soja sob infestação de *P. guildinii*. Portanto, há indícios que a infestação natural no ano agrícola 2019/20 atingiu

níveis em que existiu maior pressão de seleção sob os genótipos para a resistência ao complexo de percevejos.

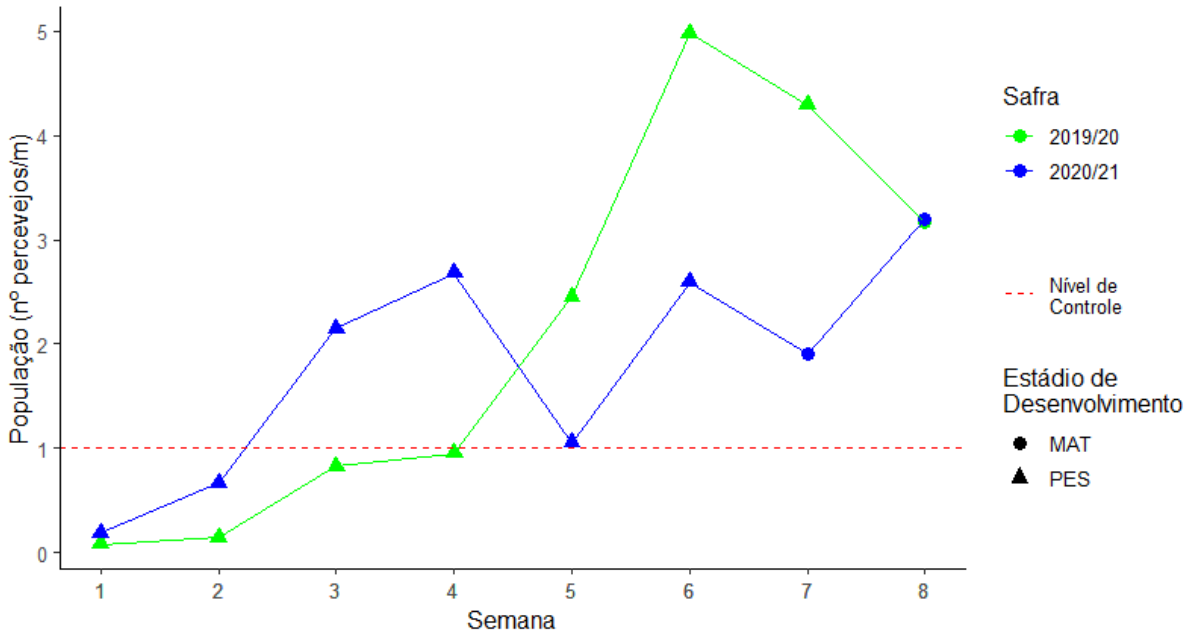


Figura 2. Flutuação da população média de percevejos por meio do método de pano de batida nos experimentos em que foi realizado o manejo 2 para os anos agrícolas de 2019/20 e 2020/21. A linha horizontal tracejada é referente ao nível de controle para produção de sementes (um percevejo/m). Os pontos representam o estágio de desenvolvimento no momento da amostragem, o triângulo representa o período de enchimento de sementes (PES, entre R5 e R7) e os círculos representam o estágio de maturidade (MAT).

No ano agrícola seguinte, 2020/21, na terceira semana de amostragem, o número de percevejos/m foi superior ao nível de controle com 2,15 percevejos por pano de batida. A população máxima mensurada no experimento foi de 3,2 percevejos/m na oitava semana. Corrêa-Ferreira et. al. (2002) não identificou reduções significativas de produtividade com uma infestação de 4 percevejos/m. Nesse ano pôde-se observar que a população de percevejos amostrada ficou acima do nível de controle por um número maior de semanas consecutivas quando comparada com o ano agrícola anterior, mas vale considerar que no ano 2020/21 os genótipos atingiram a maturidade em sua totalidade uma semana antes e o pico da população foi atingido nesse estágio. Musser et. al. (2011) e Scopel et. al. (2016) não identificaram reduções significativas de produtividade com altas infestações de percevejos a partir do estágio R7, mas identificaram redução importante na qualidade de sementes e grãos. Assim, para esse ano agrícola a pressão de seleção parece ter sido menor comparado ao ano anterior.

4.2. Análise de variância e herdabilidade

O resumo da análise de variância conjunta para os dois manejos em cada ano, a Média e a H2 para os caracteres avaliados estão representados nas tabelas a seguir (Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6). Para os caracteres de desempenho agrônômico (Tabela 3) o CV teve variação de 1,72 a 21,32. O CV

foi estimado abaixo de 20 para todos os caracteres, exceto PS e VA no modelo do ano 2020/21, o que indica uma maior variação para esses caracteres. Para PS o maior valor de CV apresentado pode ser explicado pela natureza do controle genético quantitativo da característica, também pela ação dos percevejos que não se distribuem uniformemente na área e a presença de genótipos resistentes e suscetíveis à percevejos, que fazem com que alguns genótipos podem ser mais afetados que outros pelo ataque de percevejos (FERNANDES et al., 2019; RAMALHO et al., 2012; ROCHA et al., 2014; SANTOS et al., 2018). A H² foi alta para todos os caracteres de desempenho agrônômico, o que era esperado principalmente para os caracteres NDF, NDM e APM como já reportado na literatura (JORGE et al., 2019; SULISTYO; PURWANTORO; SARI, 2018). Uma explicação para obtenção de valores tão elevados de herdabilidade para esses caracteres pode ser devido ao alto grau de parentesco entre as linhagens selecionadas (BERNARDO, 2010), sendo que, as linhagens compartilham os mesmos genitores (selecionadas a partir de uma população RIL) e ambos os parentais estão inseridos no experimento.

Ainda na Tabela 3 pode-se observar que o teste de F ($p \leq 0,05$) foi significativo para todos os caracteres para a fonte de variação de genótipos nos dois anos, indicando que existe variabilidade para os caracteres em questão entre as 14 linhagens estudadas, permitindo a seleção de genótipos superiores. Para o efeito de manejo NDF, NDM e PS tiveram efeito significativo nos dois anos agrícolas, o que se permite concluir que houve diferença entre os manejos 1 e 2 para esses caracteres. O efeito da interação entre Genótipo e Manejo (GxM) foi significativo apenas para os caracteres NDF e VA em 2019/20, assim o efeito dessa interação tem pouca influência no fenótipo. Desse modo, essas linhagens tendem a ter um maior grau de estabilidade para essas características, podendo responder favoravelmente a variações ambientais, mantendo o desempenho semelhante em ambientes com condições similares (ALLARD; BRADSHAW, 1964; SEDIYAMA, 2015).

Tabela 3. Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres relacionados ao desempenho agrônômico de 14 genótipos avaliados em dois sistemas de manejo. Um com controle químico sistemático de insetos (Manejo 1) e outro sem controle (Manejo 2), conduzidos em dois anos agrícolas.

Ano agrícola	Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio					
			NDF	NDM	APM	VA	PS	
2019/20	Manejo	1	42,86*	53,44*	0,56	0,28	1360925,34*	
	B (M)	4	3,81	16,20*	44,51	0,54*	295411,88	
	Genótipos	13	65,47*	157,29*	416,96*	2,16*	2175576,05*	
	GxM	13	8,34*	8,16	25,06	0,39*	260192,47	
	Resíduo	51	3,42	4,29	30,15	0,19	190249,03	
	CV (%)		3,73	1,72	9,43	13,45	19,11	
				49,62	120,18	58,23	3,24	2282,12
	H2			0,95	0,97	0,93	0,91	0,91
2020/21	Manejo	1	35,20*	73,74*	1,05	0,01	2117932,63*	
	B (M)	4	2,96	2,75	11,54	0,49	321538,99	
	Genótipos	13	149,75*	263,53*	417,54*	2,23*	1419854,50*	
	GxM	13	2,27	3,85	19,36	0,37	205921,63	
	Resíduo	48	3,30	6,39	35,90	0,49	214385,56	
	CV (%)		3,85	2,23	8,85	20,10	21,32	
	μ			47,21	113,52	67,72	3,51	2171,60
	H2			0,98	0,98	0,91	0,78	0,85

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \geq 0,05$); GL – Graus de Liberdade; B (M) – Efeito de blocos dentro de cada manejo; GxM – Interação entre genótipos e manejo; CV – Coeficiente de variação; μ – Média; H2 – Herdabilidade; NDF – Número de dias para florescimento; NDM – Número de dias para maturidade; APM – Altura de plantas na maturidade; VA – Valor agrônômico; PS – Produtividade de sementes.

Na Tabela 4 encontram-se os resultados da análise de variância conjunta para os caracteres relacionados à resistência a percevejos. Para esses caracteres, o CV variou de 6,30 (MCS) a 84,77 (DSE_hue). Para o PES e MCS o CV ficou no nível esperado, abaixo de 20 nos dois modelos avaliados. Para os três índices DSE o coeficiente de variação foi elevado nos dois anos agrícolas, sendo DSE_r o que apresentou menor CV, DSE_gr intermediário e DSE_hue o maior CV. Um alto coeficiente de variação para esse caráter é esperado, como descrito por Rocha et. al. (2014), o ataque de percevejos não é uniforme, podendo haver a preferência de um genótipo em detrimento de outro. A H2 foi acima de 0,62 para todos os caracteres, o que indica uma alta influência dos genótipos na expressão dos caracteres estudados e segundo Ramalho et. al. (2012) uma alta herdabilidade também é indício de uma boa condução dos experimentos.

Para todos os caracteres relacionados à resistência ao complexo de percevejos, também houve significância do efeito de genótipos nos dois anos agrícolas avaliados. Para o efeito de manejo apenas PES não foi significativo em 2019/20, já em 2020/21 apenas DSE_gr apresentou efeito significativo de manejo. A diferença de comportamento de RF, MSC, DSE_hue e DSE_r no ano 2020/21 em relação a 2019/20 pode ser explicado pelo nível de infestação natural de percevejos (Figura 1). Em 2019/20, apesar do número de percevejos/m se manter acima do nível de controle por menor período de tempo o pico populacional atingiu maiores níveis quando comparado com o ano agrícola 2020/21. Outro fator que pode ter contribuído foi o pico populacional ter ocorrido ainda no PES, fase crítica para a susceptibilidade

da cultura ao ataque de percevejos (SOUZA et al., 2016). Ainda, a predominância de ninfas e de *P. guildinii* na população de percevejos no ano 2019/20 pode ter contribuído para diferença de comportamento desses caracteres, uma vez que *P. guildinii* e ninfas de quinto instar infligem mais danos na soja. O caráter DSE_gr foi o único a apresentar significância entre os manejos no ano 2020/21, o que pode indicar que o caráter dano de semente quando avaliado por meio do índice de segmentação da diferença entre ExG e ExR é útil para identificar a influência de percevejos na soja mesmo em populações menores na área ou com espécies que causam menos danos às sementes, diferentemente do que ocorre para os demais caracteres. Vale ainda destacar que este caráter foi obtido após a obtenção de PSD no Manejo 2 e ainda assim foi capaz de identificar uma interação genótipos e manejo no ano agrícola 2019/20 e identificar diferenças entre manejos no ano seguinte

Tabela 4. Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres relacionados à resistência aos percevejos de 14 genótipos avaliados em dois sistemas de manejo. Um com controle químico sistemático de insetos (Manejo 1) e outro sem controle (Manejo 2), conduzidos em dois anos agrícolas.

Ano agrícola	Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio					
			PES	RF	MCS	DSE_hue	DSE_r	DSE_gr
2019/20	Manejo	1	2,37	23,51*	15,99*	69,99*	774,16*	806,52*
	B (M)	4	6,43	0,42	0,88	3,17	51,63*	28,78*
	Genótipos	13	19,96*	1,56*	9,43*	15,81*	100,29*	98,96*
	GxM	13	5,24	1,09*	0,71	6,70*	41,44*	29,31*
	Resíduo	51	6,86	0,26	0,55	2,99	9,33	10,08
	CV (%)		7,78	30,55	6,30	57,90	18,09	32,97
	μ		33,69	1,66	11,76	2,99	16,88	9,63
	H2		0,66	0,84	0,94	0,81	0,91	0,90
2020/21	Manejo	1	6,45	0,26	1,75	0,63	3,25	42,38*
	B (M)	4	13,13	0,49*	0,12	3,29	14,72	11,48
	Genótipos	13	28,06*	0,39*	6,08*	9,16*	45,85*	49,45*
	GxM	13	10,00	0,18	0,21	1,13	5,17	8,25
	Resíduo	48	8,09	0,15	0,44	1,80	7,21	8,49
	CV (%)		8,84	29,58	6,44	84,77	23,40	55,93
	μ		32,19	1,30	10,26	1,58	11,47	5,21
	H2		0,71	0,62	0,93	0,80	0,84	0,83

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \geq 0,05$); GL – Graus de Liberdade; B (M) – Efeito de blocos dentro de cada manejo; GxM – Interação entre genótipos e manejo; CV – Coeficiente de variação; μ – Média; H2 – Herdabilidade; PES – Período de enchimento de sementes; RF – Retenção foliar; MCS – Massa de 100 sementes; DSE_hue – Danos nas sementes com índice de segmentação HUE; DSE_r – Danos nas sementes com índice de segmentação ExR; DSE_gr – Danos nas sementes com índice de segmentação ExG – ExR.

Na Tabela 5 é representado o resumo da análise de variância conjunta para os caracteres relacionados à morfologia de sementes. Esses caracteres se comportaram de maneira similar nos dois anos, apresentando em geral baixo CV e alta H2, que foi de encontro com o obtido por Teng et. al. (2018) e Hu et. al. (2013) ao analisar os mesmos caracteres em vários ambientes. A única disparidade quanto à H2 é DS em 2020/21 (0,53), o que pode ser explicado pela maior variação associada ao resíduo para o caráter

nesse ano agrícola. No modelo estatístico do ano 2020/21 CS não atendeu os pressupostos da análise de variância, com isso, foi excluído da análise.

No teste F, apenas o caráter DS no ano 2019/20 apresentou significância para GxM, indicando ser um caráter com potencial para seleção de resistência à percevejos. Os demais caracteres nesse ano agrícola, apresentaram significância apenas para Genótipos e Manejo. Isso é um indício de que os genótipos estudados apresentam variação significativa para os caracteres morfológicos de sementes, também corroborado pela significância para Genótipos para todos os caracteres no ano agrícola 2020/21. Os caracteres morfológicos diferenciaram os manejos no ano agrícola 2019/20 o que indica que o ataque de percevejos influencia o fenótipo para os caracteres em questão.

Tabela 5. Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres relacionados à morfologia das sementes de 14 genótipos avaliados em dois sistemas de manejo. Um com controle químico sistemático de insetos (Manejo 1) e outro sem controle (Manejo 2), conduzidos em dois anos agrícolas.

Ano agrícola	Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio						
			AS	PL	L	W	LWR	DS	CS
2019/20	Manejo	1	30,8780*	8,7840*	1,1870*	0,0042*	0,0319*	0,0051*	0,0053*
	B (M)	4	4,0151	0,5705	0,0505	0,0396	0,0004	0,0003	0,0001
	Genótipos	13	34,7713*	4,7506*	0,4514*	0,3543*	0,0049*	0,0016*	0,0005*
	GxM	13	1,9197	0,2530	0,0280	0,0182	0,0005	0,0008*	0,0001
	Resíduo	51	1,7649	0,2459	0,0259	0,0159	0,0003	0,0003	0,0002
	CV (%)		4,53	2,30	2,42	2,13	1,59	3,60	1,98
	μ		29,3	21,53	6,66	5,92	1,13	0,44	0,79
	H2		0,95	0,95	0,94	0,96	0,93	0,84	0,48
2020/21	Manejo	1	0,8679	0,0001	0,0096	0,0143	0,0002	0,0005	---
	B (M)	4	0,8468	0,2043	0,0082	0,0131	0,0001	0,0007	---
	Genótipos	13	15,0728*	2,1024*	0,1707*	0,1904*	0,0016*	0,0012*	---
	GxM	13	0,7831	0,1316	0,0101	0,0093	0,0001	0,0003	---
	Resíduo	48	0,9247	0,1738	0,0118	0,0114	0,0002	0,0006	---
	CV (%)		3,42	1,98	1,69	1,82	1,15	5,45	---
	μ		28,09	21,07	6,45	5,88	1,10	0,43	---
	H2		0,94	0,92	0,93	0,94	0,90	0,53	---

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \geq 0,05$); GL – Graus de Liberdade; B (M) – Efeito de blocos dentro de cada manejo; GxM – Interação entre genótipos e manejo; CV – Coeficiente de variação; μ – Média; H2 – Herdabilidade; AS – Área média de sementes; PL – Comprimento médio do perímetro de sementes; L – Comprimento médio de sementes; W – Largura média de sementes; LWR – Razão entre comprimento e largura; DS – Distância entre a interseção do comprimento com a largura e o centro de gravidade médio; CS – Índice de circularidade.

Para os caracteres relacionados à qualidade fisiológica de sementes (Tabela 6) o CV teve uma variação de 10,80 (GER, 2020/21) a 18,52 (CRE, 2019/20), limitando-se a valores abaixo de 20 %. A H2 foi alta ($> 0,80$) para todos os caracteres avaliados, o que pode ser explicado pelo alto grau de parentesco entre as linhagens selecionadas para o estudo. Monteiro et. al. (2021) avaliou a qualidade fisiológica de sementes de progênies $S_{0:1}$ e $S_{0:2}$ por meio de germinação, comprimento de plântulas e vigor no teste de tetrazólio, além de outros caracteres. A herdabilidade a nível de progênies obtidos no estudo foi de 34,59% para germinação, 52,85% para comprimento de radícula, 44,44% para comprimento de hipocótilo

e 62,29% para vigor no teste de tetrazólio. Com isso, como mencionado por Monteiro et. al. (2021) a seleção focando a qualidade fisiológica de sementes nas etapas mais avançadas de um programa de melhoramento pode ser a melhor estratégia devido às maiores estimativas de H2.

Ainda na Tabela 6 é possível identificar que houve significância para interação GxM no modelo do ano agrícola 2019/20 para todos os caracteres estudados, assim como para o efeito de Genótipos e Manejo. Em 2020/21 apenas o efeito de Genótipos foi significativo, indicando que existem diferenças entre as linhagens estudadas quanto a qualidade fisiológica de sementes. A não significância do efeito de Manejo e GxM indica que em 2020/21 a população de percevejos no Manejo 2 não foi suficiente para alteração da qualidade de sementes. A predominância de *E. heros* nesse ano agrícola também pode ser um dos motivos em não haver pressão o suficiente para obtenção de diferentes níveis de qualidade fisiológica de sementes nos dois manejos.

Tabela 6. Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres relacionados à qualidade fisiológica de sementes de 14 genótipos avaliados em dois sistemas de manejo. Um com controle químico sistemático de insetos (Manejo 1) e outro sem controle (Manejo 2), conduzidos em dois anos agrícolas.

Ano Agrícola	Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio				
			VIG	CRE	UNI	GER	COM
2019/20	Manejo	1	1129071,55*	1377798,43*	644763,68*	3568,85*	183,20*
	B (M)	4	4201,14	4585,64	4349,11	137,67	0,70
	Genótipos	13	64296,80*	82861,84*	32403,57*	514,45*	11,99*
	GxM	13	44138,79*	50265,18*	32685,01*	529,36*	7,38*
	Resíduo	51	6808,10	7633,87	6493,58	75,95	1,15
	CV (%)		14,11	15,61	12,53	11,02	15,18
	μ		584,66	559,54	643,26	79,08	7,05
	H2		0,89	0,91	0,80	0,85	0,90
2020/21	Manejo	1	1938,32	4593,61	127,89	10,62	0,11
	B (M)	4	6203,95	9716,49	2156,45	69,05	1,44
	Genótipos	13	103434,82*	144401,68*	37974,84*	653,84*	20,63*
	GxM	13	10738,36	13055,58	7140,48	67,95	1,67
	Resíduo	48	8288,79	9893,87	6293,00	86,81	1,38
	CV (%)		15,78	18,52	11,80	10,80	17,04
	μ		576,90	537,17	669,60	86,62	6,89
	H2		0,92	0,93	0,83	0,87	0,93

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \geq 0,05$); GL – Graus de Liberdade; B (M) – Efeito de blocos dentro de cada manejo; GxM – Interação entre genótipos e manejo; CV – Coeficiente de variação; μ – Média; H2 – Herdabilidade; VIG – Índice de vigor; CRE – Índice de crescimento; UNI – Índice de uniformidade; GER – Porcentagem de sementes germinadas; COM – Comprimento de plântulas.

Para o caráter PSD, avaliado apenas nos experimentos na condição do Manejo 2, foi realizada a análise conjunta para os dois experimentos conduzidos nos anos agrícolas 2019/20 e 2020/21. O CV para o caráter foi de 24,05, similar ao estimado por Rocha et. al. (2015) e Santos et. al. (2018) e inferior ao estimado por Bermudez e Pinheiro (2020). A H2 foi alta (0,90), o que pode indicar boa precisão experimental com uma menor variação atribuída ao efeito residual. Rocha et. al. (2015) e Santos et. al. (2018) reportaram índices de herdabilidade de PSD de 0,35 e 0,69 respectivamente, na mesma população

RILs utilizada neste trabalho. As diferenças de magnitude podem ser atribuídas ao maior número de ambientes avaliados por Rocha et al. (2015) o que tende a gerar estimativas de herdabilidade menores. Santos et al. (2018) apesar de obter uma estimativa de herdabilidade mais próxima à obtida neste trabalho, realizou o estudo em todos os genótipos da população RILs, cerca de 230 genótipos em $F_{2:3}$, e um número maior de genótipos ocasiona a condução de um experimento maior que por fim é mais suscetível aos efeitos do ambiente quando comparado com um experimento com um número menor de genótipos (RAMALHO et al., 2012).

No teste de F houve significância para o efeito GxA, o que indica um comportamento diferente das linhagens nos dois anos. Essa diferença de comportamento pode ser ocasionada não só pelas condições climáticas diferentes, mas também pode ser influência dos diferentes níveis populacionais de percevejos e as diferentes predominâncias de espécies para cada ano.

Tabela 7. Resumo da análise de variância conjunta para o caráter PSD em 14 genótipos avaliados na condição do Manejo 2, sem controle químico de insetos, conduzidos em dois anos agrícolas.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio	F Calculado
Ano	1	1804034.28	11.19*
Blocos (Ano)	4	174178.62	1.08
Genótipos	13	1680085.90	10.42*
GxA	13	832417.33	5.16*
Resíduo	47	161275.92	
CV (%)		24.05	
μ		1669.72	
H2		0.90	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \geq 0,05$); GL – Graus de Liberdade; GxA – Interação entre genótipos e ano agrícola. CV – Coeficiente de variação; μ – Média; H2 – Herdabilidade.

Para o caráter TOL foi necessário realizar a análise individual dos experimentos devido à não homogeneidade dos resíduos entre os dois experimentos. Pode-se observar uma diferença no CV entre os experimentos, já que em 2019/20 foi de 13,40 e em 2020/21 foi de 3,27, o que é um indício de maior influência do ataque de percevejos no primeiro ano (BERMUDEZ; PINHEIRO, 2020; FERNANDES et al., 2019; ROCHA et al., 2014). A média também foi distinta para os dois anos agrícolas, sendo 68,51 na primeira e 90,87 na segunda e mesmo havendo essa diferença na expressão da TOL, houve diferença significativa para o efeito de genótipos em ambos os experimentos realizados. Por ser a porcentagem de sementes sem danos aparentes com relação à produtividade, a TOL é um índice importante para se avaliar resistência à percevejos independentemente da produtividade total do genótipo na condição de estresse. Ou seja, genótipos que produzem uma porcentagem maior de sementes sem danos aparentes apresentam maiores índices de TOL.

Tabela 8. Resumo da análise de variância individual para o caráter TOL em 14 genótipos avaliados em dois anos agrícolas na condição do Manejo 2.

Ano agrícola	Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio	F Calculado
2019/20	Genótipos	13	1260.52	14.95*
	Blocos	2	76.51	0.91
	Resíduo	26	84.33	
	CV (%)		13.40	
	μ		68.51	
	H2		0.93	
2020/21	Genótipos	13	81.24	9.18*
	Blocos	2	0.14	0.02
	Resíduo	21	8.85	
	CV (%)		3.27	
	μ		90.87	
	H2		0.89	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \geq 0,05$); GL – Graus de Liberdade; CV – Coeficiente de variação; μ – Média; H2 – Herdabilidade.

4.3. Correlação e seleção dos caracteres relevantes

A correlação é a identificação do grau de associação entre duas variáveis, assim, o estudo da correlação entre dois caracteres apresenta uma estimativa da associação entre eles (KOZAK; KRZANOWSKI; TARTANUS, 2012; RAMALHO et al., 2012). Na seleção de múltiplos caracteres identificar as tendências de comportamento é uma ferramenta importante para os melhoristas pois permite realizar a seleção indireta de um caráter com base na seleção de outro caráter mais fácil, que apresente menor custo e/ou menor tempo de avaliação (BERNARDO, 2010). Com isso, foi obtido o coeficiente de correlação de Pearson a partir dos BLUPs para cada classe de caracteres definidas anteriormente com a finalidade de selecionar os caracteres mais adequados para seleção de cada característica desejada.

A Figura 3 contém os coeficientes de correlação dos caracteres relacionados ao desempenho agrônomo das linhagens. Todos os caracteres apresentaram uma correlação positiva entre si, resultados que estão de acordo com os obtidos por Sulisty, Purwantoro e Sari (2018). A maior correlação identificada foi entre os caracteres NDM e NDF (0,90), o que é esperado, já que genótipos que florescerem em um número maior de dias após a semeadura geralmente tendem a atingir a maturação mais tarde. VA teve coeficiente de correlação significativo com relação a todos os demais caracteres exceto NDF. Levando em consideração os critérios para a avaliação de VA é de se esperar que exista uma correlação expressiva com os demais já que os mesmos fazem parte de sua determinação. A PS não apresentou correlação significativa com nenhum dos demais caracteres além de VA, e devido à sua importância e a complexidade do controle genético da sua expressão esse resultado já era esperado, inviabilizando a seleção indireta para essa característica, por isso é importante que ela seja integrada nas análises de adaptabilidade e estabilidade com intuito de selecionar não apenas genótipos resistentes e com características agrônomicas favoráveis, mas também com altos patamares de produtividade.

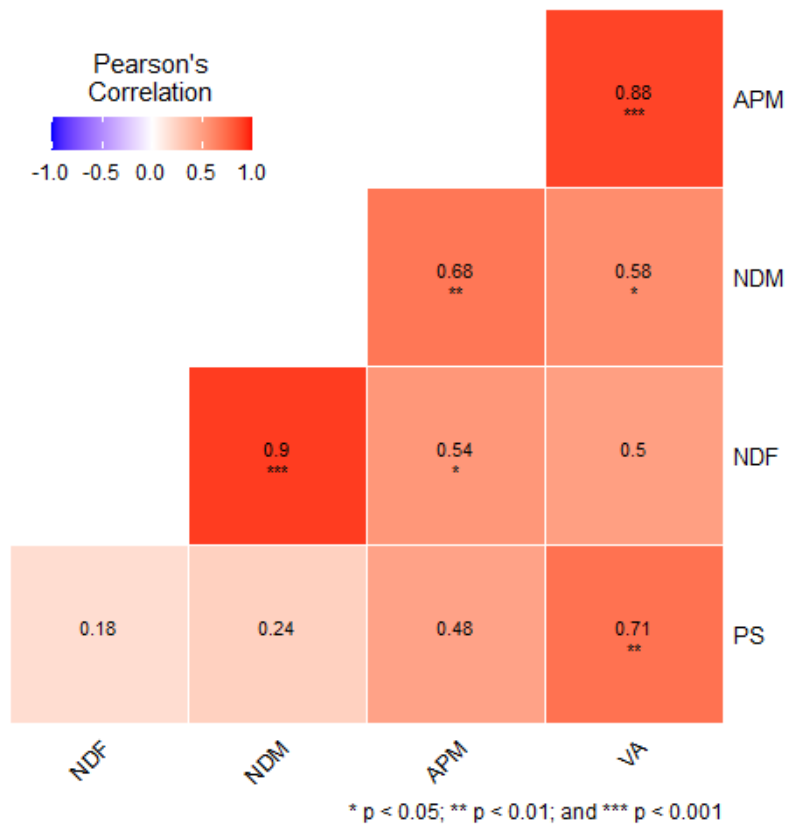


Figura 3. Coeficiente de correlação de Pearson para os BLUPs dos caracteres relacionados a desempenho agrônomo estimados em quatro ambientes, sendo dois ambientes conduzidos nas condições do Manejo 1 e dois ambientes nas condições do Manejo 2.

Para os caracteres relacionados à resistência de percevejos (Figura 4) DSE apresentou correlação significativa com a maioria dos demais caracteres, exceto PES e MCS, o que indica o potencial desse caráter na seleção de genótipos resistentes ao complexo de percevejos. O DSE dos três índices de segmentação de imagens (DSE_hue, DSE_r e DSE_gr) apresentaram correlação negativa dos valores genotípicos preditos com PSD e TOL, o que demonstra que quanto maior PSD ou TOL menor a tendência do valor de DSE, indicando que DSE tem relação com caracteres importantes na determinação da resistência da soja à praga (ROCHA et al., 2014). Com RF a correlação de DSE foi positiva, o que também corrobora a relação de DSE com a resistência ao complexo de percevejos, uma vez que RF é um sintoma fortemente relacionado ao ataque de percevejos na soja (SANTOS et al., 2018; VYAVHARE et al., 2015). PES é um caráter reportado por apresentar influência na produtividade da soja como foi reportado por Ghassemi-Golezani (2009) e Vogel et. al. (2021). Assim, neste trabalho não apresentou uma correlação significativa com nenhum dos demais caracteres relacionados a resistência, apesar de ser um caráter importante na avaliação de resistência, quanto menor o PES menor a exposição da cultura à praga no período crítico de dano (SANTOS et al., 2018). A MCS é reportada como um mecanismo de compensação da planta quando sofre ataque de percevejos, a soja tende a aumentar a massa de sementes não afetadas, assim a seleção de genótipos com menor MCS é desejável (KOCH; RICH, 2015; ROCHA et al., 2015), entretanto nenhuma correlação significativa foi identificada entre MCS e os demais caracteres relacionados à resistência.

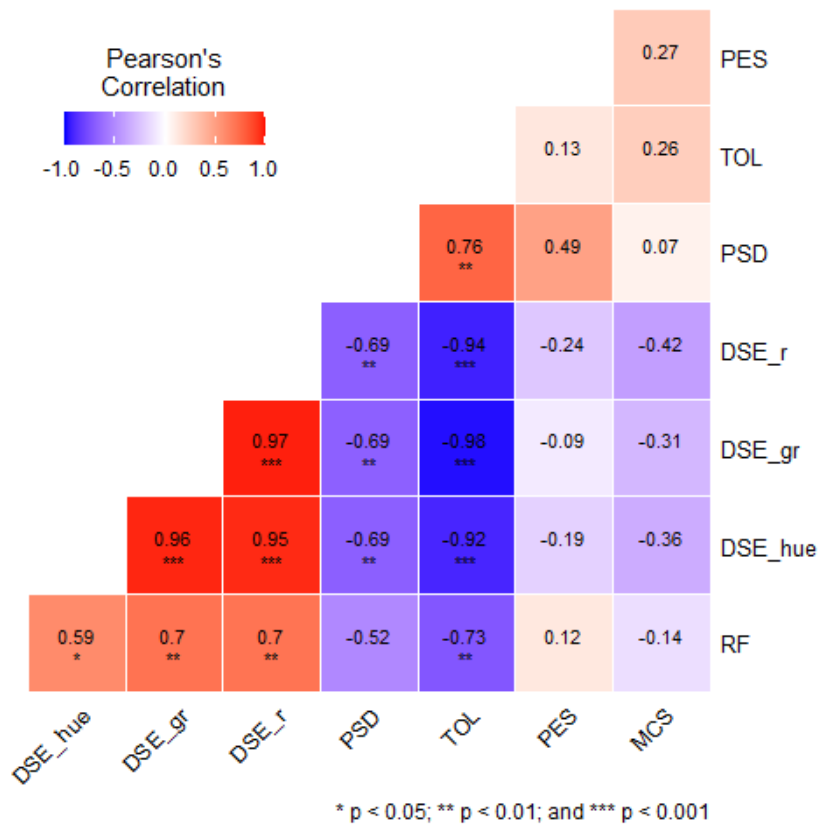


Figura 4. Coeficiente de correlação de Pearson para os BLUPs dos caracteres relacionados à resistência a percevejos (exceto PSD e TOL) estimados em quatro ambientes, sendo dois ambientes conduzidos nas condições do Manejo 1 e dois ambientes nas condições do Manejo 2. Os BLUPs para PSD e TOL foram estimados em dois ambientes conduzidos nas condições do Manejo 2.

Ainda, vale destacar na Figura 4 a correlação entre os índices de DSE que variaram de 0,95 a 0,97 e foram significativos ($p < 0,001$). As estimativas de correlação tão próximas de um sugerem que os índices de segmentação se comportam de maneira similar com relação ao outro quando comparados dois a dois. Porém ao se analisar visualmente a diferença na segmentação dos danos nas sementes e o valor da média obtida para cada índice é possível observar que existem diferenças relevantes quanto a capacidade de segmentação. No modelo utilizado na avaliação dos quatro ambientes a média obtida para DSE_hue foi de 2,3%, para DSE_gr 7,46% e para DSE_r 14,23%.

A tendência de segmentação menor de DSE_hue com relação aos demais é confirmada ao se observar as imagens segmentadas por cada índice (Figura 5). Com a classificação dos danos de acordo com França-Neto e Krzyzanowski (2018) o índice hue não segmenta totalmente as áreas de dano identificadas como danos de percevejos e não segmenta áreas de depósito de clorofila no caso da presença de sementes esverdeadas. Já o índice DSE_r aparenta superestimar a área segmentada como dano, tanto por segmentar áreas nas sementes classificadas como saudáveis quanto por uma iluminação inadequada para o uso desse índice. O índice DSE_gr apresentou uma média intermediária comparado aos demais índices e visualmente realizou a segmentação eficiente tanto de danos classificados como danos de percevejo quanto como depósitos de clorofila. Sementes esverdeadas afetam negativamente a qualidade fisiológica de sementes (DE PÁDUA et al., 2009; ZORATO et al., 2007), com isso, a identificação desse

dano também é interessante ao se objetivar a seleção de genótipos superiores visando qualidade fisiológica de sementes. Para todos os índices de DSE foi possível segmentar sementes duras e que no caso foram consideradas como área de dano. Sementes duras ocorrem por conta do depósito de suberina no tegumento da semente, por meio de efeitos ambientais na pré-colheita e genéticos (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018). Foi observado por Vieira, Tekrony e Egli (1991) que sementes duras atrasam a germinação após três dias do plantio, mas que não afetaram estimativas de vigor em baixas porcentagens no lote. Porém, é de se esperar que influenciem negativamente as estimativas de vigor neste trabalho porque as mesmas foram obtidas utilizando o sistema Vigor-S que analisa imagens de plântulas digitalizadas após três dias de incubação. Sementes com anormalidades embrionárias que apresentam coloração de sementes saudáveis não foram segmentadas como dano. Com isso, ao se comparar com análises do teste de tetrazólio a segmentação de imagens tende a não obter uma avaliação tão criteriosa quanto ao vigor, também no método proposto não foi possível realizar a categorização dos danos identificados.

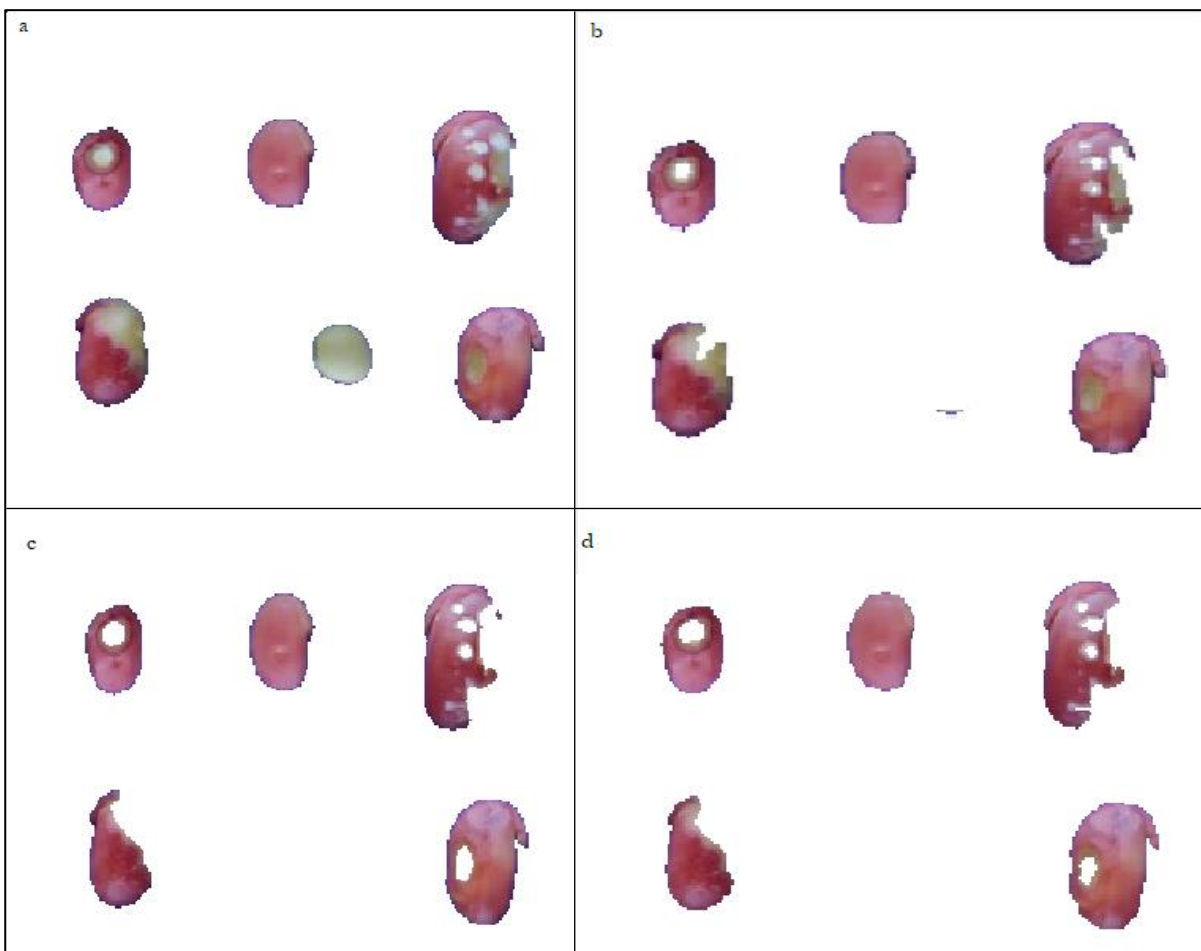


Figura 5. Demonstração da segmentação com três índices diferentes dos danos identificados nas sementes. Em **a** encontra-se a imagem das sementes sem segmentação de danos, em **b** as sementes com danos segmentados pelo índice hue, em **c** as sementes com danos segmentados pelo índice ExG - ExR e em **d** as sementes segmentadas pelo índice ExR.

Para os caracteres relacionados à morfologia de sementes (Figura 6) é possível observar uma correlação expressiva e significativa entre AS, L e W. Essa correlação é esperada já que para o cálculo da AS, L e W são fatores determinantes, assim como PL que também apresentou correlação positiva significativa com os caracteres mencionados. Altas correlações entre caracteres que descrevem o tamanho de sementes é amplamente reportado na literatura (ELATTAR et al., 2021; KUMAWAT; XU, 2021; NIU et al., 2013). Os caracteres morfológicos relacionado ao formato das sementes LWR, CS e DS foram correlacionados entre si significativamente, exceto DS e CS, sendo uma correlação negativa entre LWR e CS, positiva entre LWR e DS.

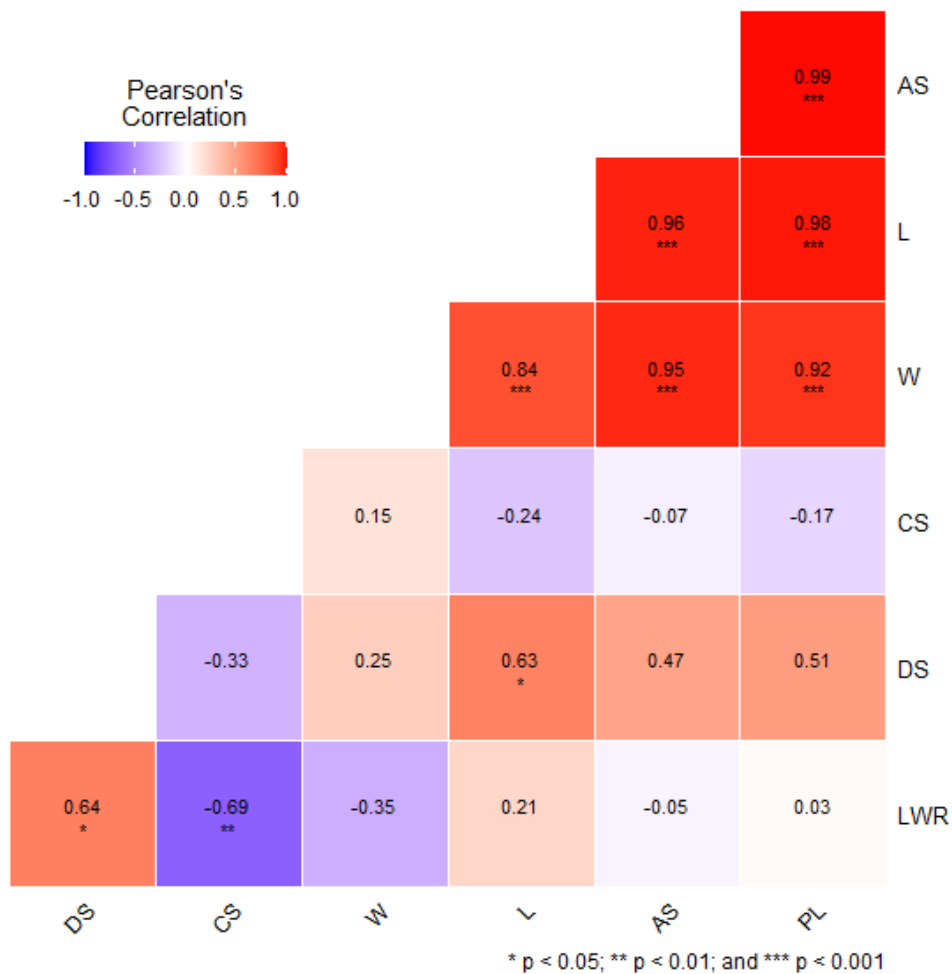


Figura 6. Coeficiente de correlação de Pearson para os BLUPs dos caracteres relacionados à morfologia de sementes estimados em quatro ambientes, sendo dois ambientes conduzidos nas condições do Manejo 1 e dois ambientes nas condições do Manejo 2.

Os coeficientes de correlação de Pearson dos BLUPs para os caracteres relacionados à qualidade fisiológica de sementes estão indicados na Figura 7. As correlações foram significativas e positivas entre todos os caracteres e variaram de 0,92 a 1,00. Como descrito por Castan et. al. (2018) e Rodrigues et. al. (2020), VIG é determinado pelo CRE e UNI em uma proporção de 70 % e 30% respectivamente. Portanto, altos índices de correlação entre essas variáveis é esperado. O mesmo ocorre com CRE e COM, já que CRE é diretamente determinado pelo COM. O caráter GER é utilizado como penalização no

cálculo do UNI, e a porcentagem de germinação apesar de não ser o principal determinante do vigor de sementes é uma característica de grande importância na determinação da qualidade fisiológica de sementes (REED; BRADFORD; KHANDAY, 2022).

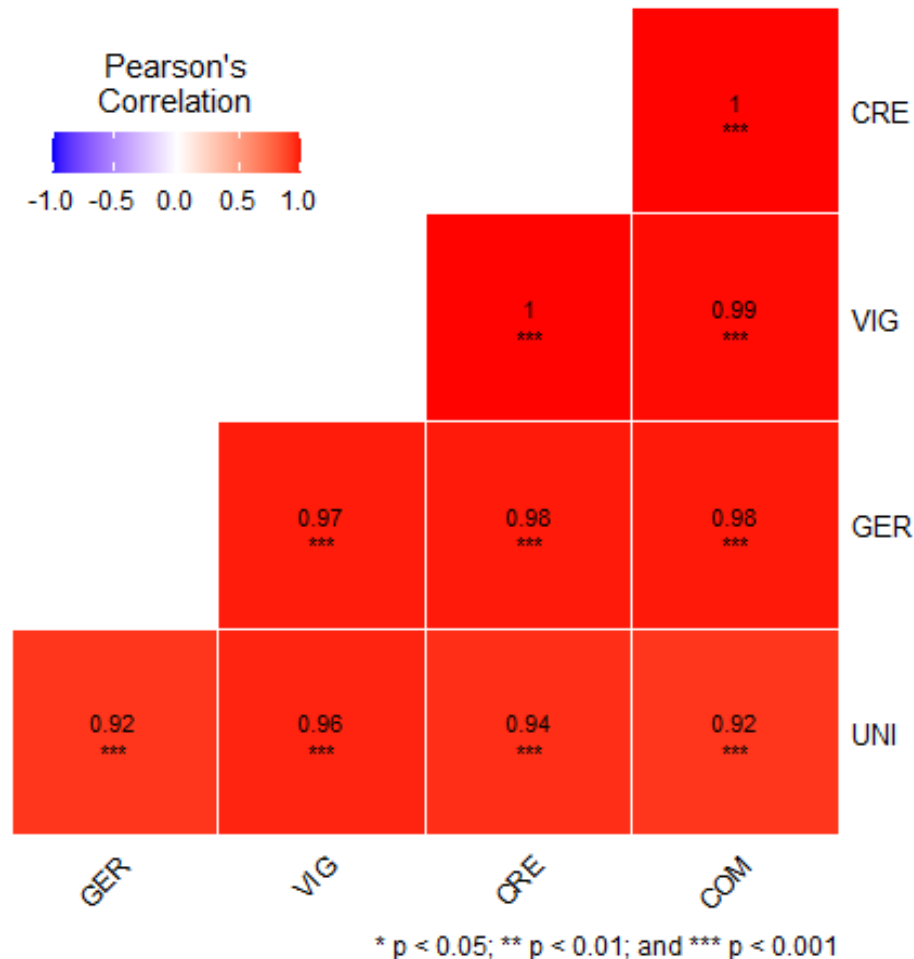


Figura 7. Coeficiente de correlação de Pearson para os BLUPs dos caracteres relacionados qualidade fisiológica de sementes estimados em quatro ambientes, sendo dois ambientes conduzidos nas condições do Manejo 1 e dois ambientes nas condições do Manejo 2.

Com base na correlação dos caracteres dentro de cada grupo e nos resultados da análise de variância é possível identificar potenciais caracteres visando a seleção de genótipos resistentes e que apresentem melhor qualidade fisiológica de sementes. A fim de limitar o número de caracteres a serem utilizados e facilitar a análise, um caráter com coeficiente de correlação significativo próximo de ± 1 com outro determinado caráter, dependendo do contexto, pode ser selecionado para análise, consequentemente selecionando indiretamente para o segundo caráter (BERNARDO, 2010). Assim, os caracteres PS, NDM, DSE_{gr}, AS, LWR, CS e VIG além dos demais caracteres relacionados à resistência de perceiver foram investigados. A correlação entre esses caracteres é apresentada na Figura 8.

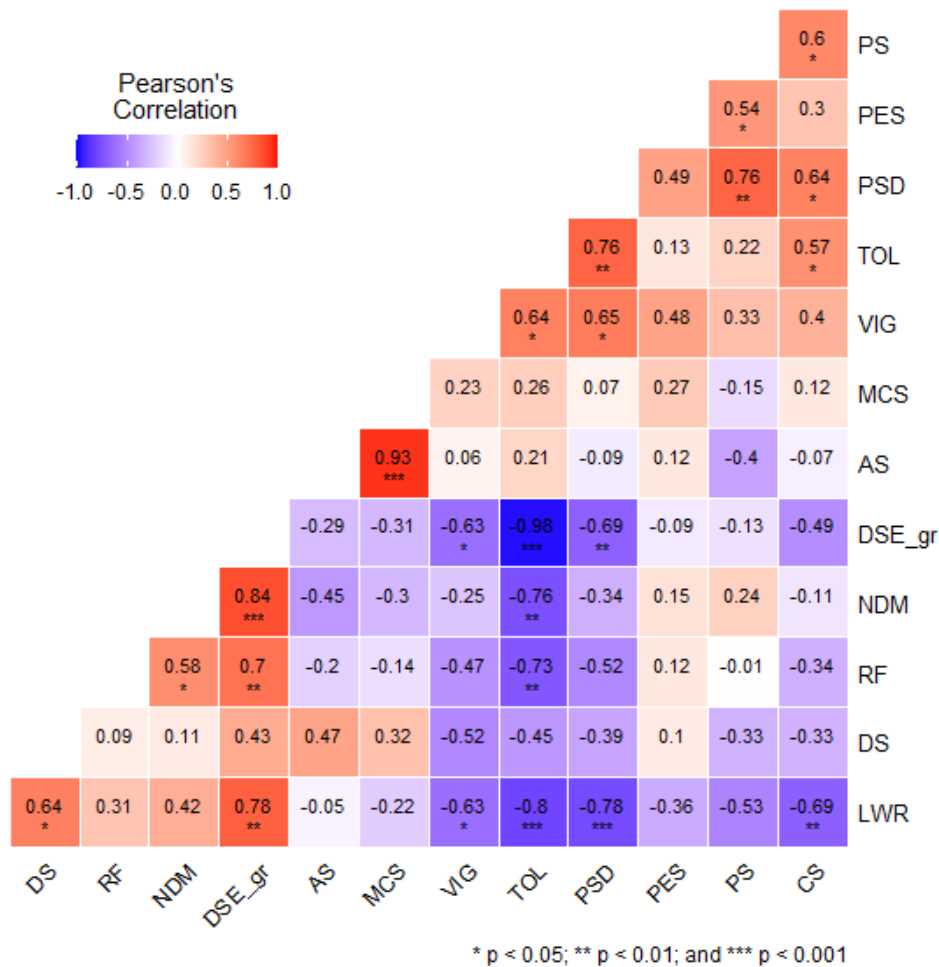


Figura 8. Coeficiente de correlação de Pearson para os BLUPs dos caracteres selecionados para estudo estimados em quatro ambientes (exceto TOL e PSD), sendo dois ambientes conduzidos nas condições do Manejo 1 e dois ambientes nas condições do Manejo 2. Os BLUPs de TOL e PSD foram estimados em dois ambientes conduzidos nas condições do Manejo 2.

Considerando o caráter DSE_gr é possível observar que apresentaram correlações significativas VIG (negativa) e NDM (positiva). Pinto et. al. (2009) identificou por meio de análises de imagens de raios-x que sementes danificadas por percevejos apresentam uma diminuição da densidade dos tecidos nas regiões danificadas, e sementes classificadas com danos severos causados pelo inseto geraram plântulas anormais. Portanto, quanto menor a área identificada como dano, a tendência de o genótipo apresentar maiores índices de vigor era esperada, o que indica um potencial do uso do caráter DSE_gr para seleção tanto de genótipos resistentes quanto de genótipos com elevados índices de vigor. A correlação positiva identificada entre DSE_gr e NDM provavelmente deve-se ao fato de que genótipos com ciclo mais longo ficam mais tempo expostos ao ataque de percevejos, além do fato dessa praga causar a extensão do ciclo da cultura por conta da síndrome conhecida como “soja louca” (KOCH; RICH, 2015), o que é corroborado pela correlação significativa negativa entre NDM e TOL e positiva entre NDM e RF.

Os caracteres morfológicos de sementes (AS, CS, DS e LWR) apresentaram correlações interessantes com outros caracteres. Principalmente pelo potencial de sua aplicação em métodos de fenotipagem de alto rendimento devido à sua fácil obtenção, possibilidade de mecanização e obtenção de

diversos caracteres em um único processo, com altos índices de herdabilidade, possibilitado também a seleção em populações segregantes (COBER; VOLDENG; FRÉGEAU-REID, 1997; LIU et al., 2015; TANABATA et al., 2012). Para os genótipos estudados LWR apresentou correlação significativa com VIG, PSD e TOL com comportamento e magnitudes similares à DSE_gr, além de apresentar correlação positiva significativa (0,78) com o mesmo. Portanto, por ser um caráter de mais fácil aquisição comparado a DSE_gr, LWR tem potencial para ser utilizado na avaliação de um maior número de genótipos. LWR foi capaz de identificar variabilidade entre genótipos e entre manejos apenas, enquanto DSE_gr foi capaz de captar a interação entre genótipos e manejo, ainda assim, uma observação importante é que a fenotipagem para esses caracteres foi realizada após a obtenção de PSD nas condições do Manejo 2. Então é provável que LWR tenha uma maior sensibilidade na identificação de variação entre os genótipos quanto à resistência e vigor, caso seja fenotipado anteriormente à utilização do separador espiral. Portanto, ainda é imprescindível a necessidade de desenvolver mais estudos relacionando o formato de sementes após a colheita, danos causados por percevejos e vigor de sementes.

Outra correlação importante identificada foi entre AS e MCS (0,93), em que em um contexto de fenotipagem de alto rendimento a AS pode ser um caráter a se realizar seleção indireta para MCS. Já o CS apresentou correlação significativa positiva com PS (0,60), PSD (0,64) e TOL (0,57), o que pode indicar uma tendência de obtenção de genótipos mais produtivos e resistentes ao se selecionar genótipos com maior CS. O caráter DS não apresentou correlação significativa com nenhum outro caráter além de LWR, entretanto as correlações negativas apresentadas com relação a TOL e VIG e ter apresentado variação significativa para a interação entre genótipos e manejo é um indício que seu uso pode ser eficiente na seleção de genótipos no contexto deste trabalho.

4.4. BLUPs e índice de seleção MGIDI

A seleção de genótipos resistentes ao complexo de percevejos por meio do caráter PSD pode ser realizada eficientemente apenas em ambientes sob as condições do Manejo 2, ou seja, permitindo a infestação natural de percevejos sem realizar controle químico de insetos (ROCHA et al., 2014). Assim, ao analisar os BLUPs obtidos para PSD, TOL, RF e MCS nas condições do Manejo 2 (Figura 9) é possível observar que em relação à média geral obtida no modelo, o experimento conduzido em 2020/21 apresentou um maior número de genótipos com BLUPs acima da média para PSD e TOL e abaixo da média para RF e MCS. Para PSD e TOL são desejados valores de maiores dimensões, já pra RF e MCS são desejados valores com menores dimensões. Portanto, corrobora o indício de que em 2020/21 houve uma menor pressão de seleção quanto à resistência ao complexo de percevejos devido à menor população de percevejos e a presença de espécie que causa menor prejuízo à soja.

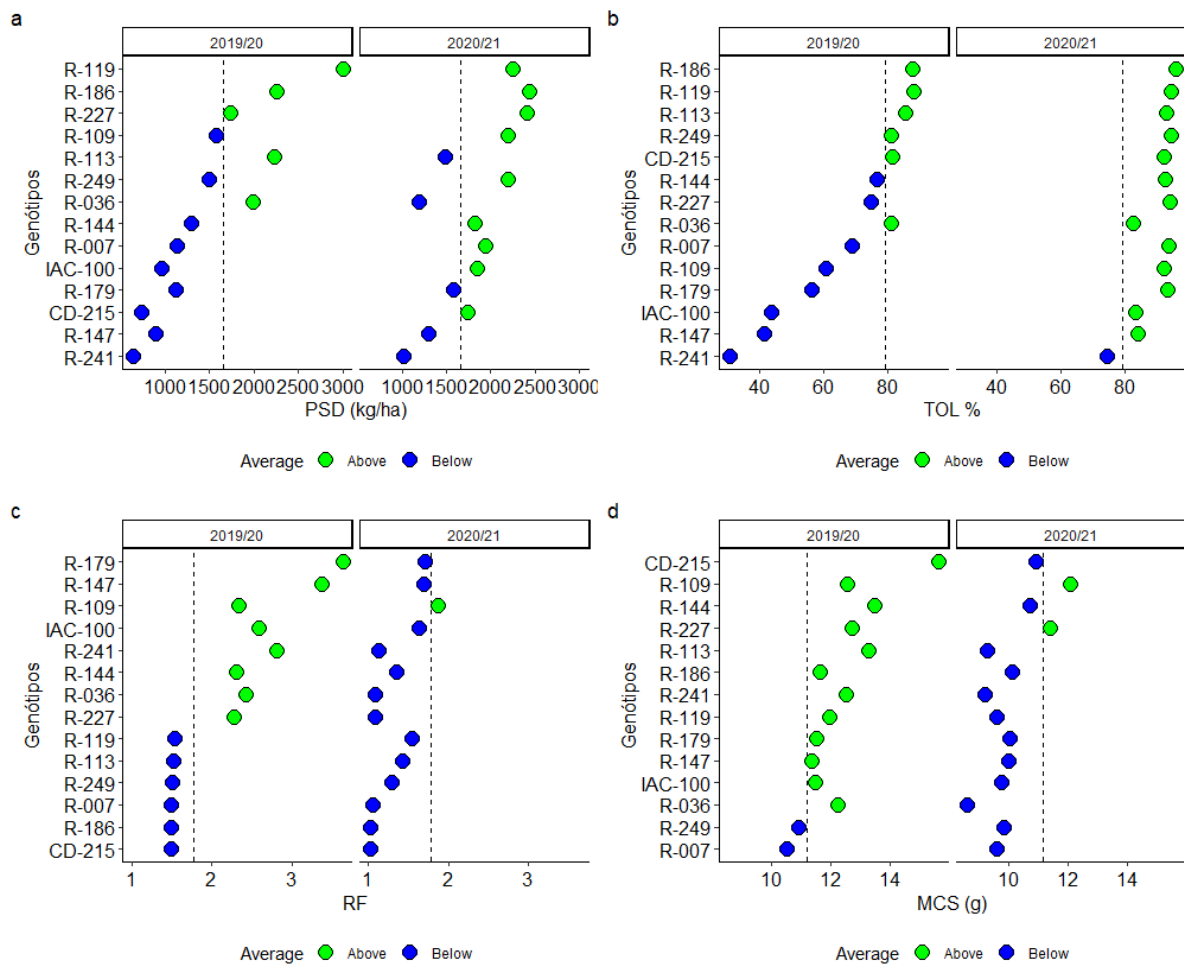


Figura 9. BLUPs obtidos para os caracteres PSD (a), TOL (b), RF(c) e MCS (d) considerando os dois experimentos sob as condições do Manejo 2 conduzidos em dois anos agrícolas.

Com relação a PSD, entre os genótipos com melhor desempenho para os dois experimentos conduzido estão os presentes no Grupo 2, a R-119 considerada resistente e R-113 e R-249 consideradas suscetíveis. O parental IAC-100 teve um desempenho mais próximo das linhagens suscetíveis, mas ainda assim foi superior em relação ao parental CD-215 como relatado por Santos et al. (2018) e apresentou PS acima da média nos dois experimentos conduzidos nas condições do Manejo 2. Com isso, a IAC-100 mesmo obtendo baixa PSD e TOL teve elevada PS (Figura 10 – c), indicando que mesmo sofrendo danos elevados nas sementes manteve uma produtividade elevada. Portanto pode ser considerado um genótipo resistente como relatado na literatura (PINHEIRO et al., 2005; ROSSETTO et al., 1995; SILVA et al., 2013; SOUZA et al., 2016). Apresentar altos níveis de infestação e de danos por percevejos e ainda assim atingir altas produtividades, pode estar relacionado a uma resistência associada ao mecanismo de tolerância, com isso, é interessante a obtenção de genótipos que apresentem resistência relacionada aos mecanismos de antibiose e antixenose ao visar a obtenção de genótipos resistentes e com alta qualidade fisiológica de sementes.

A CD-215 apresentou BLUP acima da média para TOL e abaixo da média para RF, o que a princípio seriam indícios de resistência ao complexo de percevejos. Entretanto pode-se observar que esse

parental apresentou um dos menores valores preditos para PSD e o maior para MCS, indicando que houve efeito de compensação da planta sob ataque de percevejos, portanto o caráter TOL apesar de ser um indicativo de resistência importante não pode ser considerado o único a se inferir sobre a resistência ou não de um genótipo.

Na Figura 10 tem-se os BLUPs obtidos para VIG e DSE_{gr} nos quatro ambientes em que os experimentos foram conduzidos. Como mencionado anteriormente, DSE_{gr} apresentou correlações entre os valores genotípicos preditos altas e significativas com diferentes caracteres, tanto os relacionados à resistência ao complexo de percevejos quanto os relacionados à qualidade fisiológica de sementes. Ao se observar os genótipos que apresentaram BLUPs abaixo da média geral obtida no modelo para DSE_{gr} tem-se os mesmos genótipos que apresentaram valores acima da média para VIG, exceto R-179 e R-036 pertencentes ao Grupo 4 e Grupo 5 respectivamente. Ambos os genótipos são caracterizados por apresentarem baixa qualidade fisiológica, no caso R-036 apresentou o menor valor predito para VIG, já R-179 foi a sexta das 12 linhagens provenientes da população de RILs, o que corrobora a variação esperada de vigor das linhagens amostradas.

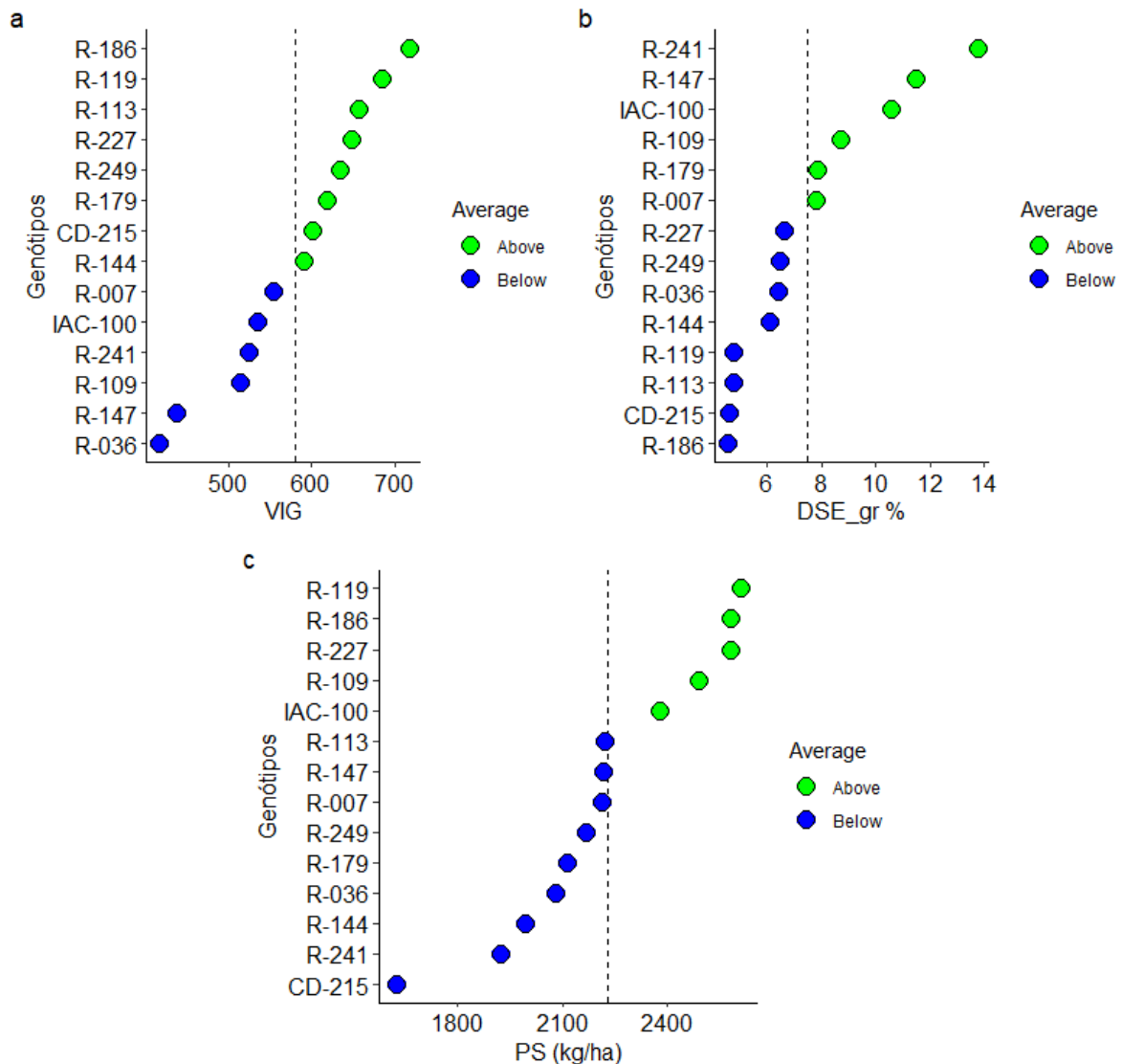


Figura 10. BLUPs obtidos para os caracteres VIG (a), DSE_gr (b) e PS (c) considerando o modelo com quatro ambientes, sendo dois ambientes sob condições do Manejo 1 e dois ambientes sob condições do Manejo 2.

Ainda sobre a relação entre DSE_gr e VIG, a não coincidência no desempenho dos genótipos quando considerados um a um provavelmente deve-se ao fato de que os danos por percevejos influenciam o vigor e viabilidade das sementes principalmente com relação ao local (região vascular e embrião) e à intensidade do dano, assim, não necessariamente genótipos que apresentam maiores porcentagens de área de danos vão apresentar um menor vigor (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018). Todavia é esperado que genótipos que sofram um maior número de picadas, consequentemente tem mais chances de receber danos em áreas críticas da semente relacionadas à germinação e vigor. Portanto, existem indícios de que DSE_gr pode ser considerado um caráter para aferir qualidade fisiológica de sementes, apresentando um potencial de diferenciação maior em relação aos manejos ao se considerar a análise de variância conjunta do ano 2020/21 (Tabelas 4 e 6).

Bermudez e Pinheiro (2020) realizaram estudo de seleção com índices multivariados por meio de análise fatorial em duas populações $F_{2,3}$ provenientes de cruzamentos da IAC-100 e dois PIs, e concluíram que a seleção não foi eficiente para a população estudada tendo efeitos indesejados para os caracteres estudados, existindo a necessidade de estudo da aplicação de outros índices multivariados na população. A utilização do índice MGIDI foi realizada eficientemente em algumas culturas e apresentou ganhos de seleção maiores quando comparado com outros índices em dados simulados e em dados reais (NARDINOID et al., 2022; OLIVOTO; NARDINO, 2021).

Assim, foram realizadas duas seleções com índice MGIDI a partir da obtenção dos BLUPs (Figura 11). A primeira seleção por meio do MGIDI (Figura 11 – a) considerou os principais caracteres agrônômicos relacionados à resistência a percevejos e à qualidade fisiológica de sementes, as linhagens selecionadas foram R-119 (Grupo 4), R-186 e R-227 (Grupo 2) e R-249 (Grupo 3). Dentre as linhagens selecionadas pode-se destacar as do Grupo 2, que eram esperadas a obter melhor desempenho e em conjunto com a R-109 foram as que apresentaram maior PS considerando os quatro experimentos conduzidos. Com isso, é provável que a classificação prévia dos grupos tenha alta influência da produtividade do genótipo, principalmente pela utilização de PSD como caráter de classificação de resistência. Outro fato importante é que os genótipos selecionados também foram os que obtiveram melhores valores preditos para VIG. Devido a importância da qualidade fisiológica de sementes na formação populacional adequada no campo, conseqüentemente para obtenção de altas produtividades é esperado que genótipos produtivos apresentem altos índices de vigor (BAGATELI et al., 2019; MONTEIRO et al., 2021; REED; BRADFORD; KHANDAY, 2022). Portanto a seleção com base nesses caracteres se mostrou eficiente, principalmente no sentido de que não foram selecionados genótipos que compõem o Grupo 5.

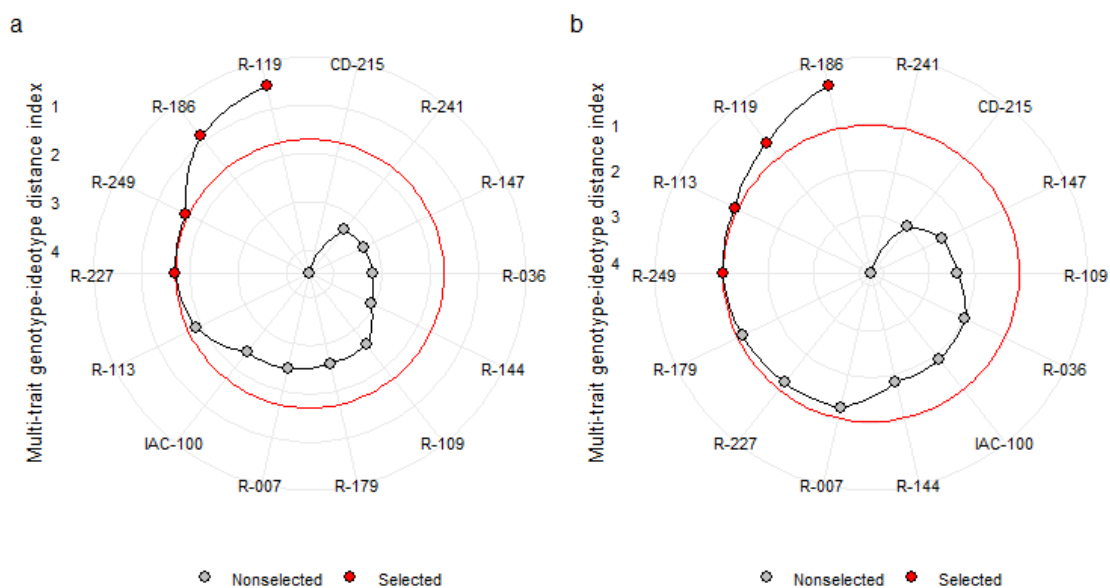


Figura 11. Ranqueamento de genótipos em ordem ascendente do índice MGIDI para os caracteres normalmente utilizados na seleção de genótipos resistentes e com qualidade fisiológica superior (PS, PSD, VIG, TOL, PES, NDM, RF, MCS) em **a**, e para os caracteres obtidos por meio de imagens de sementes (CS, LWR, AS, DS, DSE_gr) em **b**. Os genótipos selecionados são representados pelos pontos vermelhos e o círculo em vermelho representa o ponto de corte para a intensidade de seleção utilizada (30%).

Dos quatro genótipos selecionados com os caracteres normalmente utilizados, três também foram selecionados utilizando o índice MGIDI para os caracteres obtidos por meio de imagens de sementes (Figura 11 – b), a única diferença é a linhagem R-113 que foi selecionada em detrimento da R-227 com uma intensidade de seleção de 30%. Apesar da linhagem R-113 pertencer ao Grupo 5 ela apresentou altos índices de VIG e foi o sexto genótipo mais produtivo ao se considerar os quatro ambientes (Figura 10 – c). Ainda, no ranqueamento ascendente de genótipos a R-113 foi a quinta melhor ranqueada no índice MGIDI para caracteres agrônômicos enquanto a R-227 foi a sexta melhor ranqueada para a seleção realizada com caracteres de imagem de sementes.

A seleção considerando os caracteres agrônômicos apresentou um ganho para PS de 11,55%, para PSD de 17,55% e de VIG 15,45% enquanto a seleção considerando os caracteres obtidos com imagens de sementes apresentou ganhos para PS, PSD e VIG de 7,54%, 16,02% e 15,79% respectivamente. O índice de coincidência de Hamblin e Zimmerman (1986) para os diferentes índices de seleção multivariado foi de 64,79%, o que indica que, mesmo considerando a probabilidade de seleção dos genótipos ao acaso houve coincidência entre as duas seleções.

5. CONCLUSÃO

Foi identificada variabilidade entre os genótipos para todos os caracteres estudados. A área de danos nas sementes (DSE_{gr}) apresentou uma maior sensibilidade na distinção dos manejos, mesmo com menores níveis de pressão de seleção.

DSE_{gr} e LWR apresentaram correlações significativas com os principais caracteres relacionados à resistência da soja ao complexo de percevejos e à qualidade fisiológica de sementes nos quatro ambientes experimentais.

A seleção realizada com caracteres obtidos exclusivamente por meio de imagens de sementes utilizando o índice MGIDI foi eficiente para identificar os genótipos com desempenho superior quanto à resistência à percevejo e vigor de sementes. Índices de seleção multivariado podem ser úteis na identificação desses genótipos, consequentemente aumentando a eficiência de seleção. Portanto, também existem indícios do potencial da utilização de imagem de sementes na seleção indireta para essas características.

Existe uma maior necessidade de explorar a relação entre formato de sementes, área de dano e vigor de sementes em um contexto de seleção de genótipos resistentes de soja ao complexo de percevejos.

REFERÊNCIAS

- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 503, 1964.
- BAGATELI, J. R. et al. Productive performance of soybean plants originated from seed lots with increasing vigor levels. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 2, p. 151–159, 2019.
- BERMUDEZ, F.; PINHEIRO, J. B. Selection to high productivity and stink bugs resistance by multivariate data analyses in soybean. **Bragantia**, v. 79, n. 2, p. 250–259, 1 abr. 2020.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2. ed. Woodybury, MN: Stemma Press, 2010.
- BOERMA, H. R.; WALKER, D. R. Discovery and utilization of QTLs for insect resistance in soybean. In: **Genetics of adaptation**. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. p. 181–189.
- BOETHEL, D. J. Assessment of soybean germplasm for multiple insect resistance. In: CLEMENT, S. L.; QUISENBERRY, S. S. (Eds.). **Global plant genetic resources for insect-resistant crops**. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. 95–123.
- BUENO, A. F. et al. Economic thresholds in soybean-integrated pest management: old concepts, current adoption, and adequacy. **Neotropical Entomology**, v. 42, n. 5, p. 439–447, 2013.
- CANTARELLI, L. D. et al. Physiological seeds quality: spatial distribution and variability among soybean plant population. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 2, p. 344–351, 2015.
- CASTAN, D. O. C.; GOMES-JUNIOR, F. G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S, a new system for evaluating the physiological potential of maize seeds. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 2, p. 167–172, 1 mar. 2018.
- COBER, E. R.; VOLDENG, H. D.; FRÉGEAU-REID, J. A. Heritability of seed shape and seed size in soybean. **Crop Science**, v. 37, n. 6, p. 1767–1769, 1 nov. 1997.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra brasileira de grãos**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 3 jul. 2022.
- CONTE, O. et al. **Resultados do manejo integrado de pragas da soja na safra 2018/19 no Paraná**: Documentos, Embrapa Soja, ISSN 2176-2937. Londrina, PR: [s.n.].
- CORRÊA-FERREIRA, B. S.; DE AZEVEDO, J. Soybean seed damage by different species of stink bugs. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 4, n. 2, p. 145–150, 1 maio 2002.
- DE PÁDUA, G. P. et al. Incidence of green soybean seeds as a function of environmental stresses during seed maturation. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 3, p. 150–159, 2009.
- DEPIERE, R. A.; PANIZZI, A. R. Duration of Feeding and Superficial and In-Depth Damage to Soybean Seed by Selected Species of Stink Bugs (Heteroptera: Pentatomidae). **Neotropical Entomology**, v. 40, n. 2, p. 197–203, 2011.
- DEPIERI, R. A.; PANIZZI, A. R. Duration of feeding and superficial and in-depth damage to soybean seed by selected species of stink bugs (Heteroptera: Pentatomidae). **Neotropical entomology**, v. 40, n. 2, p. 197–203, mar. 2011.

- DIAS, M. A. N. et al. Efeitos diretos do vigor de sementes de soja na competição com plantas daninhas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 346–351, 2011.
- ELATTAR, M. A. et al. Identification and validation of major QTLs, epistatic interactions, and candidate genes for soybean seed shape and weight using two related RIL populations. **Frontiers in Genetics**, v. 12, 28 maio 2021.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**: special report 87. Ames: [s.n.]. Disponível em: <<http://lib.dr.iastate.edu/specialreports/87>>.
- FERNANDES, M. G. et al. Spatial distribution and sampling plan of the phytophagous stink bug complex in different soybean production systems. **Journal of Applied Entomology**, v. 143, p. 236–249, 2019.
- FRANÇA-NETO, J. DE B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. 1. ed. Londrina: Embrapa, 2018. v. Documentos 406
- GHASSEMI-GOLEZANI, K. Response of soybean cultivars to salinity stress. **Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 7, n. 2, p. 401–404, 2009.
- GIORDANI, W. et al. Genome-wide association studies dissect the genetic architecture of seed shape and size in common bean. **G3 Genes | Genomes | Genetics**, v. 12, n. 4, 4 abr. 2022.
- GODOI, C. R. C. et al. Resistência a insetos em populações de soja com diferentes proporções gênicas de genitores resistentes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 32, n. 1, p. 47–55, 2002.
- GODOI, C. R. C. DE; PINHEIRO, J. B. Genetic parameters and selection strategies for soybean genotypes resistant to the stink bug-complex. **Genetics and Molecular Biology**, v. 32, n. 2, p. 328–336, 2009.
- GOLDSMITH, P. D. Soybean production and processing in Brazil. In: **Soybeans: chemistry, production, processing, and utilization**. [s.l.] AOCS Press, 2008. p. 773–798.
- GUEDES, J. V. C. et al. Percevejos da soja: novos cenários, novo manejo. **Revista Plantio Direto**, v. 12, p. 28–34, 2012.
- HAMBLIN, J.; ZIMMERMANN, M. J. DE O. Breeding common bean for yield in mixtures. **Plant Breeding Reviews**, v. 4, 1986.
- HU, Z. et al. Determination of the genetic architecture of seed size and shape via linkage and association analysis in soybean (*Glycine max* L. Merr.). **Genetica**, v. 141, n. 4–6, p. 247–254, 11 jun. 2013.
- JORGE, G. et al. Line selection and correlation between traits of soybean genotypes under high naturally occurring stink bug infestation. **Mol. Res**, v. 18, n. 1, p. 18182, 2019.
- KOCH, R. L. et al. Identification, biology, impacts, and management of stink bugs (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae) of soybean and corn in the midwestern United States. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 8, n. 1, p. 1–14, 2017.
- KOCH, R. L.; RICH, W. A. Stink bug (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae) feeding and phenology on early-maturing soybean in Minnesota. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 5, p. 2335–2343, 1 out. 2015.

- KOGAN, M.; PITRE, H. N. General sampling methods for above-ground populations of soybean arthropods. In: KOGAN, M.; HERZOG, D. C. (Eds.). **Sampling methods in soybean entomology**. New York: Springer, 1980. p. 30–60.
- KOZAK, M.; KRZANOWSKI, W.; TARTANUS, M. Use of the correlation coefficient in agricultural sciences: problems, pitfalls and how to deal with them. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 4, p. 1147–1156, 2012.
- KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. DE B.; HENNING, A. A. **A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura**: Circular Técnica 136, Embrapa Soja, ISSN 2176-2864. Londrina, PR: [s.n.]. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177391/1/CT136-online.pdf>>.
- KUMAWAT, G.; XU, D. A Major and stable quantitative trait locus qSS2 for seed size and shape traits in a soybean RIL population. **Frontiers in Genetics**, v. 12, p. 550, 16 abr. 2021.
- LEITE, T. et al. Avaliação da viabilidade de sementes de pinhão manso pelos testes de tetrazólio e de raios x. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 2, p. 195–2001, 2009.
- LI, L.; ZHANG, Q.; HUANG, D. A review of imaging techniques for plant phenotyping. **Sensors (Switzerland)**, v. 14, n. 11, p. 20078–20111, 2014.
- LIU, D. et al. Discriminating and elimination of damaged soybean seeds based on image characteristics. **Journal of Stored Products Research**, v. 60, p. 67–74, 1 jan. 2015.
- LOPES, E. C. A. et al. Genetic gain and correlations among traits for stink bug resistance in soybeans. **Euphytica** 1997 97:2, v. 97, n. 2, p. 161–166, 1997.
- MARCOS-FILHO, J. **Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective**. Scientia AgricolaScientia Agricola, , 2015. . Acesso em: 10 fev. 2020
- MATIAS, F. I.; CARAZA-HARTER, M. V.; ENDELMAN, J. B. FIELDimageR: an R package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. **The Plant Phenome Journal**, v. 3, n. 1, p. e20005, 1 jan. 2020.
- 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**, v. 100, n. 4, p. 1456–1463, 2007.
- MEYER, G. E.; NETO, J. C. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 63, p. 282–293, 2008.
- MONTEIRO, F. F. et al. Breeding for yield and seed quality in soybean. **Euphytica**, v. 217, n. 212, p. 1–10, 2021.
- MUSSER, F. R. et al. Economic injury levels for southern green stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) in R7 growth stage soybeans. **Crop Protection**, v. 30, n. 1, p. 63–69, Jan. 2011.
- NARDINOID, M. et al. Understanding drought response mechanisms in wheat and multi-trait selection. **PLOS ONE**, v. 17, n. 4, p. e0266368, 14 abr. 2022.
- NIU, Y. et al. Association mapping for seed size and shape traits in soybean cultivars. **Molecular Breeding**, v. 31, n. 4, p. 785–794, 1 abr. 2013.

- OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. C. metan: an R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 6, p. 783–789, 1 jun. 2020.
- OLIVOTO, T.; NARDINO, M. MGIDI: toward an effective multivariate selection in biological experiments. **Bioinformatics**, v. 37, n. 10, p. 1383–1389, 16 jun. 2021.
- PINHEIRO, J. B. et al. Potential of soybean genotypes as insect resistance sources. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, n. 3, p. 294–301, 30 set. 2005.
- PINTO, T. L. F. et al. An assessment of mechanical and stink bug damage in soybean seed using X-ray analysis test. **Seed Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 110–120, 2009.
- PINTO, T. L. F. et al. Análise de imagens na avaliação de danos mecânicos em sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 310–316, 2012.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria, 1 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 6 jun. 2022
- RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012.
- REED, R. C.; BRADFORD, K. J.; KHANDAY, I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. **Heredity** 2022, p. 1–10, 10 jan. 2022.
- RISSE, J. H. L. **Conditioning of shrivelled soybean seeds**. Thesis (Master of Science)—Ames: Iowa State University, 1990.
- ROCHA, F. DA et al. Critério efetivo de seleção para avaliar a resistência ao complexo de percevejos em soja. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 14, n. 3, p. 174–179, 2014.
- ROCHA, F. DA et al. Selection of soybean lines exhibiting resistance to stink bug complex in distinct environments. **Food and Energy Security**, v. 4, n. 2, p. 133–143, 1 jul. 2015.
- RODRIGUES, M.; GOMES-JUNIOR, F. G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S: System for Automated Analysis of Soybean Seed Vigor. **Journal of Seed Science**, v. 42, p. 1–12, 7 dez. 2020.
- ROSSETTO, C. et al. Mechanisms of resistance to stink bug complex in the soybean cultivar IAC-100. **Anais- Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 24, n. 3, p. 517–522, 1995.
- SANTOS, M. DA F. et al. Heritability of agronomic traits correlated with reduced stink bug damage in an F2:3 soybean population derived from IAC-100. **Journal of Crop Improvement**, v. 32, n. 1, p. 1–18, 2018.
- SCOPEL, W. et al. Danos de *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae) em soja infestada no estágio de grão cheio. **Agropecuária Caratinense**, v. 29, n. 3, p. 81–84, 2016.
- SEDIYAMA, T. **Melhoramento genético da soja**. Londrina: Mecenas, 2015.
- SILVA, F. A. C. et al. Feeding activity, salivary amylase activity, and superficial damage to soybean seed by adult *Edessa mediotabunda* (F.) and *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae). **Neotropical Entomology**, v. 41, n. 5, p. 386–390, 2012.

- SILVA, J. P. G. F. et al. Characterization of antibiosis to the redbanded stink bug *Piezodorus guildinii* (Hemiptera: Pentatomidae) in soybean entries. **Journal of Pest Science**, v. 86, n. 4, p. 649–657, 24 dez. 2013.
- SMITH, C. M.; CLEMENT, S. L. Molecular bases of plant resistance to arthropods. **Annual Review of Entomology**, v. 57, n. 1, p. 309–328, 2012.
- SOSA-GÓMEZ, D. R. et al. Prevalence, damage, management and insecticide resistance of stink bug populations (Hemiptera: Pentatomidae) in commodity crops. **Agricultural and Forest Entomology**, v. Blackwell, 2019.
- SOUZA, E. S. et al. Response of soybean genotypes challenged by a stink bug complex (Hemiptera: Pentatomidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 109, n. 2, p. 898–906, 1 abr. 2016.
- SULISTYO, A.; PURWANTORO; SARI, K. P. Correlation, path analysis and heritability estimation for agronomic traits contribute to yield on soybean. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 102, n. 1, p. 012034, 1 jan. 2018.
- TANABATA, T. et al. SmartGrain: High-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. **Plant Physiology**, v. 160, n. 4, p. 1871–1880, 2012.
- TAVARES, L. C. et al. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: Rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 8, p. 1357–1363, ago. 2013.
- TENG, W. L. et al. Identification of quantitative trait loci underlying seed shape in soybean across multiple environments. **Journal of Agricultural Science**, v. 156, n. 1, p. 3–12, 1 jan. 2018.
- TUELHER, E. S. et al. Competition between the phytophagous stink bugs *Euschistus heros* and *Piezodorus guildinii* in soybeans. **Pest Management Science**, v. 72, n. 10, p. 1837–1843, 1 out. 2016.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World agricultural production**. Foreign Agricultural Service, Circular series. v. WAP 5-22, p. 43, maio 2022.
- VIEIRA, R. D.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. Effect of drought stress on soybean seed germination and vigor. **Journal of Seed Technology**, v. 15, n. 1, p. 12–21, 1991.
- VOGEL, J. T. et al. Soybean yield formation physiology: a foundation for precision breeding based improvement. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, Nov. 2021.
- VYAVHARE, S. S. et al. Redbanded stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) infestation and occurrence of delayed maturity in soybean. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 4, p. 1516–1525, 2015.
- VYAVHARE, S. S.; WAY, M. O.; MEDINA, R. F. Determination of growth stage-specific response of soybean to redbanded stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) and its relationship to the development of flat pods. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 4, p. 1770–1778, 2015.
- WADA, T.; ENDO, N.; TAKAHASHI, M. Reducing seed damage by soybean bugs by growing small-seeded soybeans and delaying sowing time. **Crop Protection**, v. 25, n. 8, p. 726–731, ago. 2006.
- ZORATO, M. DE F. et al. Presença de sementes esverdeadas em soja e seus efeitos sobre seu potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 11–19, 2007.