

CLEITON RENATO CASAGRANDE

**ASSOCIAÇÃO ENTRE FENOTIPAGEM DE ALTO RENDIMENTO DO DOSSEL E  
PRODUTIVIDADE EM SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C334a  
2019  
Casagrande, Cleiton Renato, 1995-  
Associação entre fenotipagem de alto rendimento do dossel  
e produtividade em soja / Cleiton Renato Casagrande. – Viçosa,  
MG, 2019.  
viii, 50f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Aluizio Borém de Oliveira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.41-49.

1. Soja - Melhoramento genético. 2. Drone. 3. Sementes -  
Qualidade. 4. *Glycine max* (L.) Merrill. I. Universidade Federal  
de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de  
Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. II. Título.

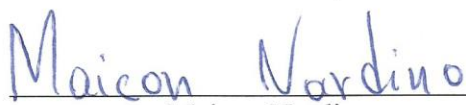
CDD 22 ed. 633.342


CLEITON RENATO CASAGRANDE


**ASSOCIAÇÃO ENTRE FENOTIPAGEM DE ALTO RENDIMENTO DO DOSSEL E  
PRODUTIVIDADE EM SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de julho de 2019.

  
Maicon Nardino

  
Pedro Crescêncio Souza Carneiro

  
Gustavo César Sant'Ana  
(Coorientador)

  
Aluízio Borém de Oliveira  
(Orientador)

*Aos meus pais, Ivaldo e Ignês,  
que muitas vezes renunciaram aos seus sonhos,  
para que eu pudesse realizar os meus.  
À minha nona Júlia, ao meu irmão Cléo e ao  
meu sobrinho Bernardo.*

**DEDICO.**

*“Um navio está seguro quando está no porto,  
mas não é pra isso que foram feitos os navios.”*  
*(Willian Shedd)*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, ao Programa de Pós-Graduação em Genética Melhoramento, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado e ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa Tropical Melhoramento & Genética S. A. pela oportunidade da realização desse estudo e pela grandiosa infraestrutura disponibilizada. Em especial a equipe de condução dos experimentos de VCU e aos seus gestores Alexandre e Anderson.

Aos meus pais, Ivaldo e Ignês, pelo amor, cuidado, carinho e trabalho que dedicaram para a minha formação. Com eles compartilho cada página deste trabalho e peço desculpas pelas ausências (frequentes) e pela distância para que eu alcance meus objetivos.

À minha namorada Skarlet, por todo o amor, cuidado e companheirismo diário. E por dividir comigo o sonho e as dificuldades de sair do sul do país para cursar pós-graduação na UFV.

Ao meu orientador, Aluizio Borém, pela orientação, amizade e contribuições que teve para este trabalho. Além disso, pela sua humildade, receptividade, conversas e conselhos.

Ao meu coorientador, Gustavo César Sant'Ana, pela orientação, amizade e intensas contribuições para a realização desse trabalho e para a minha vida pessoal/profissional. Agradeço muito pela sua colaboração, dedicação e preocupação para alcançarmos este resultado final. Sem dúvidas, você contribui de forma significativa na minha formação!

Ao professor, Felipe Lopes da Silva, que me recebeu muito bem no Programa Soja, pelas valiosas trocas de informações, conversas e pelos conhecimentos transmitidos. Também agradeço ao Programa Soja-UFV e a todos os seus colaboradores (doutorandos, mestrandos, estagiários e funcionários) pelos prazerosos dias de convivência e de troca de conhecimento.

À Doutoranda Martha pelo auxílio nas análises de qualidade fisiológica de sementes e ao Laboratório de Sementes da UFV pela infraestrutura cedida e empréstimo de equipamentos.

Aos professores com quem cursei disciplinas durante o mestrado: Borém, Cecon, Felipe, Eveline, Rodrigo, Léo Bhering, Policarpo e Pedro Crescêncio. Sem dúvidas, os senhores me forneceram a base teórica para que eu chegasse até aqui e para que eu possa continuar avançando!

Aos professores Pedro e Maicon e a doutoranda Andreia pela disponibilidade e auxílio nas análises estatísticas.

À professora Nerinéia da UFSM e ao Dr. Romeu Kiihl (Pai da Soja), por terem me iniciado no Melhoramento de Plantas.

Aos amigos “Gaúchos-Viçosenses”: Henrique, Andreia, Jeferson, Luciane, Micheli, Maicon e Adriel, pelos agradáveis momentos regados a churrasco e chimarrão. Também agradeço aos amigos feitos em Viçosa, em especial ao José Dique, pelo exemplo de ser humano e determinação.

## **BIOGRAFIA**

CLEITON RENATO CASAGRANDE, filho de Ivaldo Edegar Casagrande e Ignês Terezinha Traversin Casagrande, nasceu dia 17 de junho de 1995 na cidade de Guaporé, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. cursou o ensino fundamental na escola Imaculada Conceição e o ensino médio na escola Bandeirante na cidade natal.

Em março de 2013, iniciou o curso superior em Agronomia, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. Durante a graduação trabalhou como bolsista de iniciação científica na área de melhoramento genético de feijão, sob orientação da Professora Dra. Nerinéia Dalfollo Ribeiro. Entre janeiro e agosto de 2017 participou do programa de estágio “Novos Talentos” da Empresa Tropical Melhoramento e Genética S.A. (TMG) desenvolvendo atividades na área de melhoramento e biotecnologia em soja. Em 26 de janeiro de 2018 colou grau em Agronomia em Santa Maria, RS.

Em março de 2018, ingressou no curso de Mestrado em Genética e Melhoramento da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2019, intitulada: “Associação entre fenotipagem de alto rendimento do dossel e produtividade em soja”.

## RESUMO

CASAGRANDE, Cleiton Renato, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2019. **Associação entre fenotipagem de alto rendimento do dossel e produtividade em soja.** Orientador: Aluizio Borém de Oliveira. Coorientador: Gustavo César Sant'Ana.

A identificação de caracteres mensuráveis por meio da fenotipagem de alto rendimento e que sejam correlacionados com a produtividade de grãos pode ser de grande utilidade para os programas de melhoramento de soja. Os objetivos deste estudo foram quantificar a associação existente entre a qualidade fisiológica de sementes, a cobertura de dossel vegetativo e a produtividade de grãos em genótipos de soja. Para tanto, dois experimentos de campo foram conduzidos nas cidades de Mauá da Serra e Campo Mourão, Paraná, Brasil. Um total de 97 genótipos de soja foram analisados na safra agrícola de 2018/2019. Antes da semeadura, uma amostra das sementes, foi destinada a avaliação da qualidade fisiológica por meio de teste de germinação, teste de primeira contagem, comprimento de plântulas aos três dias, massa seca de plântulas aos três dias, emergência em areia, índice de velocidade de emergência e massa seca de plântulas em areia. A cobertura de dossel foi determinada com uso de uma câmera RGB acoplada a um drone Phantom 4 Pro. As imagens foram capturadas em voos realizados nos estádios fenológicos V3-V4, V5-V6, V7-V8 e V9-R1, que foram utilizadas para o cálculo da cobertura de dossel através da proporção de pixels verdes em cada parcela experimental. Além disso, foram determinadas as falhas presentes em cada parcela, em metros lineares. Os dados foram submetidos a análise de variância individual e conjunta, e análise de diversidade genética. As correlações genotípicas foram estimadas entre todos os caracteres avaliados em ambos os ambientes para a confecção de redes de correlações e análises de trilha. A qualidade de parcela, expressa pelo comprimento de falhas, foi correlacionada negativamente com os caracteres referentes a qualidade fisiológica de sementes e com a porcentagem da cobertura de dossel nos dois ambientes, mas não apresentou impacto sobre as estimativas de produtividade de grãos. Além disso, a qualidade fisiológica de sementes correlacionou-se positivamente com o desenvolvimento do dossel vegetativo. A produtividade de grãos em Campo Mourão, apresentou associação linear genotípica de 0,76 e efeito direto de 0,84 com a cobertura de dossel no estágio V9-R1, indicando que uma maior biomassa do dossel no florescimento proporciona maior produtividade de grãos. Para Mauá da Serra não foi constatado associação significativa de alta magnitude entre a cobertura de dossel e a produtividade de grãos. No entanto, é importante a realização de experimentos em mais locais para melhor entendimento a respeito do efeito ambiental sobre a relação entre cobertura de dossel e produtividade de grãos em soja.

## ABSTRACT

CASAGRANDE, Cleiton Renato, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2019. **Association between canopy high-throughput phenotyping and yield in soybean.** Advisor: Aluízio Borém de Oliveira. Co-Advisor: Gustavo César Sant'Ana.

The identification of measurable traits using high-throughput phenotyping besides them being correlated with grain yield can be very useful for soybean breeding programs. This study aimed to quantify the association between seed physiological quality, vegetative canopy cover and grain yield in soybean genotypes. For that, two field experiments were carried out in the twons of Mauá da Serra and Campo Mourão, Paraná, Brazil. A total of 97 soybean genotypes were analyzed in the 2018/2019 crop seasons. Before sowing, a seed sample, was used to evaluate the physiological quality by means of germination test, first count test, seedling length at three days, dry mass of seedlings at three days, emergence in sand, emergency speed index and dry mass of seedlings in sand. The canopy cover was determined using an RGB camera mounted on a Phantom 4 Pro drone. The images were captured on flights carried out in phenological stages V3-V4, V5-V6, V7-V8 and V9-R1, which were used for the calculation of the canopy cover by the proportion of green pixels in each experimental plot. In addition, the row gaps present in each plot, in linear meters, were determined. The data were submitted to both individual and joint analysis of variance, along with analysis of genetic diversity. Genotypic correlations were estimated among all the characters evaluated in both environments in order to settle correlation networks and path analysis. The plot quality, expressed as failure length, was negatively correlated with the characteristics of the physiological seed quality and the percentage of canopy cover in both environments, but did not show any impact on grain yield estimates. In addition, the physiological quality of seeds correlated positively with vegetative canopy development. Grain yield in Campo Mourão, showed a genotypic linear association of 0.76 and a direct effect of 0.84 with the canopy cover in the V9-R1 stage, indicating that a higher canopy biomass in the flowering provides higher grain yield. For Mauá da Serra, no significant association of high magnitude was observed between canopy cover and grain yield. However, it is important to carry out experiments in more locations to better understand the environmental effect on the relationship between canopy cover and grain yield in soybean.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1	Melhoramento da soja.....	3
2.2	Cobertura do dossel em soja .....	4
2.3	Influência das condições ambientais na cobertura do dossel em soja .....	5
2.4	Qualidade fisiológica de sementes de soja .....	6
2.5	Fenotipagem baseada em imagens aplicada ao melhoramento de soja .....	6
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	8
3.1	Material genético e delineamento experimental a campo.....	8
3.2	Análise de germinação e vigor das sementes.....	9
3.3	Análise de imagens da cobertura do dossel vegetativo em genótipos de soja .....	10
3.4	Análises estatísticas .....	11
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	14
4.1	Análise de variância, amplitude e média dos valores genotípicos.....	14
4.2	Estimativa dos parâmetros genéticos .....	22
4.3	Diversidade genética.....	26
4.4	Correlações entre caracteres .....	31
4.5	Análise de Trilha.....	37
5	CONCLUSÕES.....	40
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

Na cultura da soja, o rápido fechamento de dossel aumenta a eficiência no uso da água, aumentando a transpiração relativa em comparação com a evaporação do solo (DIERS et al., 2018; RICHARDS et al., 2007; SARYOKO et al., 2018), reduzindo a perda de água. Isso garante que mais umidade do solo esteja disponível para absorção e produção de biomassa, que de outra forma seria perdida por evaporação. Além disso, o rápido estabelecimento do dossel permite melhor interceptação da radiação solar, o que é determinante para o crescimento e a produtividade das culturas (EDWARDS; PURCELL, 2005; KOESTER et al., 2014; LIEBISCH et al., 2015), já que a interceptação de radiação pelo dossel gera a energia necessária para processos fisiológicos imprescindíveis, incluindo fotossíntese e transpiração (LIEBISCH et al., 2015).

O rápido fechamento do dossel também aumenta a competitividade da soja contra plantas daninhas (DATTA et al., 2017). Isso se torna ainda mais relevante no cenário atual, em que plantas daninhas resistentes a herbicidas estão se tornando um grande problema na produção agrícola (GREEN; OWEN, 2011). A maior cobertura do dossel das plantas de soja pode suprimir as plantas daninhas remanescentes da safra anterior (FICKETT et al., 2013) e pode, portanto, servir como um método de controle cultural para impedir o crescimento dessas, aumentando a competitividade da soja.

A cobertura de dossel é uma característica quantitativa que é influenciada pelo genótipo, pelo ambiente e por sua interação (XAVIER et al., 2017). A complexidade dessa característica decorre da segregação de alelos em muitas regiões cromossômicas, cada um com pequenos efeitos no fenótipo, e interagindo com outros alelos e com o ambiente. A investigação do controle genético da cobertura do dossel pode ser usada para melhorar o desempenho de linhagens de soja, selecionando e piramidando alelos favoráveis associados com o estabelecimento mais rápido do dossel em cultivares elite (XAVIER et al., 2017).

Uma estratégia promissora no desenvolvimento de novas variedades de soja, consiste na triagem rápida e precisa de um grande número de tratamentos para a identificação de genótipos que apresentem atributos correlacionados com maior produtividade de grãos. A quantificação desses atributos de forma manual e/ou visual apresenta limitações, especialmente quando são consideradas alto número de populações ou linhagens. Em virtude do número e tamanho das populações avaliadas nos programas de melhoramento de soja, quando essas são

feitas da forma tradicional, são influenciadas por alguns erros e vieses do melhorista, pelo tempo despendido na execução da tarefa e pela necessidade de mais avaliadores.

A análise de imagens digitais oferece uma maneira simples e eficiente para estimar e comparar a cobertura do dossel (PURCELL, 2000) em soja, que pode ser medida como a fração de pixels verdes em relação ao total de pixels em uma imagem aérea de cada parcela experimental. Alguns estudos têm demonstrado que a análise de imagens digitais é uma maneira mais barata e rápida de medir a cobertura do dossel do que outros métodos de estimativa de interceptação de radiação (CAMPILLO et al., 2010; FIORANI et al., 2012; GASPAR; CONLEY, 2015; XAVIER et al., 2017).

No Brasil, até o momento, pouco se conhece sobre a relação entre a velocidade de fechamento do dossel e a produtividade da soja. Nesse contexto, é importante realizar estudos dessa natureza, levando em conta a especificidade das condições edafoclimáticas brasileiras. Nesse sentido, os objetivos deste trabalho foram: (i) usar a fenotipagem baseada em imagens aéreas de drones para estudar a relação entre a cobertura de dossel em diferentes estádios de desenvolvimento e a produtividade de grãos em genótipos de soja; (ii) analisar a influência da qualidade fisiológica das sementes sob cobertura do dossel vegetativo e a produtividade de grãos em soja; (iii) analisar a influência das falhas em parcelas sobre a estimativa de produtividade de grãos; (iv) estimar a variabilidade genética de genótipos de soja para caracteres relacionados à cobertura de dossel, qualidade de sementes e produtividade de grãos; (v) agrupar os genótipos com base na diversidade genética para caracteres de sementes, dossel e produtividade de grãos (vi) avaliar a influência ambiental sobre a cobertura do dossel vegetativo e a produtividade de grãos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Melhoramento da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma espécie originária do continente asiático, mais especificamente da região centro-leste do norte da China, e tornou-se uma das espécies de maior importância econômica no cenário nacional (SEDIYAMA et al., 2015). Juntamente com trigo, arroz, cevada e milho faz parte da dieta alimentar dos chineses há cerca de 5 mil anos (LIJUAN; RUZHEN, 2010). No entanto, tornou-se uma cultura com importância mundial há menos de cinco décadas, sendo considerada uma das principais *commodities* mundiais do agronegócio, especialmente pelo seu elevado teor de proteína para a alimentação animal e seu teor de óleo para a indústria. A região Sul do Brasil recebeu os primeiros cultivos de soja, e a partir de 1970 a cultura se expandiu para o Cerrado brasileiro. Atualmente o cultivo da soja ocorre até em áreas de latitudes muito próximas ao Equador. A expansão do cultivo deve-se principalmente aos avanços dos programas de melhoramento, inicialmente públicos, com a introdução da característica de período juvenil longo e posteriormente com a chegada dos transgênicos no mercado, gerando cultivares mais produtivos, adaptados e resistentes a estresses bióticos e abióticos (SILVA et al., 2017).

Cruzamentos naturais entre duas espécies selvagens e perenes de soja (desconhecida ou extinta) deram origem a uma espécie selvagem anual (*Glycine soja*), que foi submetida a processos de seleção por cientistas chineses na antiga China dando origem a espécie cultivada (*Glycine max*) (HYMOVIWITZ, 2004). Desde sua domesticação, inúmeras transformações ocorreram, tanto do ponto de vista fitotécnico como no que diz respeito a produtividade da cultura, apresentando um ganho genético estimado de 1,38% ao ano (DALLASTRA et al., 2014).

Nos primeiros anos do cultivo da soja no Brasil até sua expansão para regiões de baixas latitudes, o objetivo fundamental dos programas de melhoramento era o aumento da produtividade de grãos atrelado a modificações no porte, na altura e no ciclo das plantas. Com o aumento do monocultivo, alguns problemas começaram a surgir, como o aparecimento da ferrugem asiática e dos nematoides, que passaram a ser alvos das estratégias de seleção pelos programas de melhoramento (DIAS et al., 2010; ROCHA et al., 2016).

A promulgação da Lei de Proteção de Cultivares - LPC (Lei nº. 9456/1997), que estabelece o pagamento de *royalties* às empresas obtentoras dos materiais, impulsionaram grande competitividade entre empresas e instituições para o desenvolvimento de variedades.

Outro aspecto importante a ressaltar diz respeito à Lei nº 10.814/2003, que trata da Lei de Biossegurança, indispensável para a aprovação e liberação comercial de transgênicos no país, tornando-o atrativo o desenvolvimento de cultivares por multinacionais. Dessa forma, houve um aumento substancial de cultivares adaptados e produtivos, com alto valor de mercado, a partir do emprego de métodos biotecnológicos e patentes transgênicas.

Além da busca constante por materiais mais produtivos a cada ciclo de seleção, as principais características agronômicas almejadas nas cultivares são grupo de maturidade relativa adequado para cada região de adaptação, número de dias para a maturidade, altura de planta e de inserção da primeira vagem, resistência ao acamamento, resistência a deiscência de vagens, tipo e hábito de crescimento, forma da folha, qualidade de sementes, teor de óleo e proteína e resistência a doenças (BACAXIXI et al., 2011; GOMES et al., 2016; SEDIYAMA et al., 2015). A identificação de novas características que se correlacionam com aumento na produtividade de grãos rumo ao ideótipo de planta buscado pelos agricultores pode trazer vantagens ao desenvolvimento de novas variedades.

## **2.2 Cobertura do dossel em soja**

Inúmeras vantagens são listadas em relação a um rápido estabelecimento da cultura da soja (KALER et al., 2018). O estabelecimento mais rápido do dossel aumenta a eficiência no uso da água, em virtude da diminuição da quantidade de água do solo perdida por evaporação. Assim, há maior disponibilidade hídrica para as plantas, servindo de aporte a fotossíntese e geração de biomassa vegetal (RICHARDS et al., 2007).

Além disso, o fechamento rápido do dossel afeta de forma direta a interceptação de radiação solar, aumentando o balanço energético da planta, fator determinante para aumento da produtividade de grãos (LIEBISCH et al., 2015). Processos fisiológicos cruciais como a fotossíntese e a respiração dependem da energia gerada pela interceptação da luz solar. Assim, o índice de área foliar, a estrutura e a eficiência do dossel em interceptar luz determinam a produtividade da cultura (GIFFORD et al., 1984).

Além das vantagens listadas acima, a cobertura de dossel em soja pode reduzir a presença de plantas daninhas na cultura (FICKETT et al., 2013). Nos últimos anos, inúmeros casos de plantas daninhas resistentes a herbicidas foram relatados na literatura (BURGOS et al., 2013). Portanto, aumentar a competitividade da soja em relação a presença de plantas daninhas, suprimindo o seu desenvolvimento, tem grande importância no cenário atual.

Xavier et al. (2017) relatam que a cobertura do dossel em soja é um atributo quantitativo, ou seja, influenciado por muitos genes e com influência do ambiente e da interação do genótipo com o ambiente. Neste mesmo trabalho, os autores identificaram seis regiões genômicas associadas a cobertura de dossel nos cromossomos 1, 5, 6, 9, 10 e 19, com maior efeito do QTL identificado no cromossomo 19, seguido pelo cromossomo 10. Desta forma, essa característica é determinada por inúmeros locos espalhados por diferentes cromossomos, tornando essa característica relativamente complexa (TUBEROSA et al., 2007). Embora existam outros tecidos vegetais na soja que também realizam fotossíntese, os órgãos vegetais mais importantes na interceptação da luz solar são as folhas. Pecíolos, caules, flores e frutos estão situados em extratos inferiores do dossel, portanto sua importância é desconsiderada (LOPES; LIMA, 2015). Nesse sentido, a cobertura de dossel tem influência direta na interceptação da luz.

Investigar a relação da cobertura do dossel com a produtividade de grãos e o seu controle genético é importante para programas de melhoramento de soja, uma vez que, já relatado na literatura, existe resposta diferencial de genótipos para essa característica (KALER et al., 2018; PLACE et al., 2011; TAGLIAPIETRA et al., 2018; XAVIER et al., 2017).

### **2.3 Influência das condições ambientais na cobertura do dossel em soja**

Entre os elementos climáticos, o fotoperíodo, a temperatura e a disponibilidade hídrica são os que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja (SETIYONO et al., 2007; SINCLAIR et al., 2005). Streck et al. (2008) pesquisando plastocrono em cultivares de soja constataram que o tempo médio necessário para o aparecimento de dois nós sucessivos em soja é maior em anos mais secos que em anos com maior precipitação, concluindo que o déficit hídrico no solo afeta o desenvolvimento de nós vegetativos e, conseqüentemente, a cobertura de dossel.

A temperatura ótima para o desenvolvimento da maioria dos processos e mecanismos fotossintéticos da soja encontra-se em torno de 25-30°C. É importante ressaltar que variações fora desses limites causam perturbações fisiológicas. Temperaturas baixas inibem o crescimento, e temperaturas altas além de também reduzirem a taxa de crescimento, prejudicam a floração, diminuem a retenção de vagens e aceleram a maturação.

Além dos fatores citados acima, a luminosidade é outro importante fator meteorológico que afeta o desenvolvimento do dossel vegetativo (SHIBLES; WEBER, 1965). Para maiores produtividades de grãos, deve haver coincidência entre os períodos de maior índice de área foliar em relação a superfície do terreno, na qual a energia solar atinja o máximo possível. Além

disso, o índice de área foliar, a arquitetura da planta, a altura da planta, o arranjo foliar, o ângulo de inserção foliar, a distância vertical entre as folhas e a dispersão espacial das folhas são os fatores mais importantes que condicionam a eficiência na captação e uso da luz (KROSS et al., 2015; SCHÖFFEL; VOLPE, 2001).

#### **2.4 Qualidade fisiológica de sementes de soja**

A qualidade de sementes está associada a taxa de germinação, a longevidade, a menor deterioração de reservas e ao vigor das mesmas (KRZYZANOWSKI et al., 2008). A baixa qualidade de sementes diminui a sobrevivência das plântulas no campo e aumenta a variabilidade populacional no *stand* de plantas (CANTARELLI et al., 2015a; FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016). De acordo com Henning et al. (2010) a alta qualidade fisiológica de sementes é fundamental no estabelecimento e desenvolvimento inicial da soja. Diante disso, a germinação e o vigor de sementes apresentam correlação positiva com a produtividade de grãos, uma vez que contribuem para o estabelecimento rápido e uniforme das plântulas, e assim afetam o principal componente de rendimento, número de plantas por hectare.

Em um estudo recente em que os autores avaliaram como o vigor de sementes de soja influencia os componentes de rendimento (CAVERZAN et al., 2018), foi evidenciado que plantas oriundas de sementes com alto vigor apresentam maior eficiência na fixação biológica do nitrogênio. Já as sementes de soja com baixo vigor resultaram em plantas com maior variabilidade para produção e *stand* de plantas. Neste mesmo trabalho também foi observado que sementes de maior vigor geram plantas com maior produtividade de grãos.

Portanto, avaliar a germinação e o vigor das sementes é indispensável para a comparação de cobertura de dossel em diferentes genótipos de soja, devido à alta influência dessas características no desenvolvimento inicial e rendimento final da cultura.

#### **2.5 Fenotipagem baseada em imagens aplicada ao melhoramento de soja**

A fenotipagem de alto rendimento baseada em imagens é empregada atualmente em vários programas de melhoramento de soja, com o uso de sensores e câmeras de alta resolução acopladas a aeronaves não tripuladas (principalmente drones). A análise de imagens digitais tem sido usada para mensuração de caracteres morfológicos e fisiológicos em centenas ou milhares de plantas em um curto intervalo de tempo e com baixa exigência em mão de obra (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2016; GUAN et al., 2018; HOWARD; JARQUIN, 2019;

MAIMAITIJIANG et al., 2019). Dentre as principais ferramentas utilizadas para fenotipagem de alto rendimento em larga escala destacam-se as câmeras RGB, do inglês, *Red/Green/Blue*.

As câmeras convencionais RGB têm sido as mais usadas na fenotipagem de plantas atualmente. Giglioti et al. (2016) definem que o sistema RGB fornece imagens coloridas através do sistema aditivo de cores do espectro visível: vermelho (~600 nm), verde (~550 nm) e azul (~450 nm). Diante disso, a percepção humana se baseia na tomada de imagens que é realizada em duas dimensões. A maioria das imagens processadas por câmeras RGB são armazenadas em formato TIFF ou JPEG, ou combinadas com índices espectrais correlacionados com os parâmetros de interesse (ARAUS; CAIRNS, 2014; BAI et al., 2016; LEBOURGEOIS et al., 2008; LOBOS et al., 2017).

As câmeras RGB têm sido empregadas em programas de melhoramento para mensuração de caracteres como biomassa da parte aérea (GOLZARIAN et al., 2011; MARMAITIJIANG et al., 2019), componentes de rendimento (DUAN et al., 2011), *stand* de plantas (JIN et al., 2017) e também severidade de doenças (SUGIURA et al., 2016). A avaliação de cobertura de dossel de uma maneira simples e precisa foi primeiramente proposta por Purcell (2000). O método consiste na medição da fração de pixels verdes em comparação ao número total de pixels em uma imagem. A cobertura de dossel equivale aproximadamente à fração da radiação solar interceptada.

Recentemente, a análise de imagens digitais tem sido empregada para a determinação da cobertura de dossel vegetativo em soja ou da radiação solar interceptada pela cultura (GASPAR; CONLEY, 2015; XAVIER et al., 2017). Quando comparada com outros métodos, a análise de imagens digitais apresenta vantagens, pois necessita de pouco tempo para a sua determinação e os resultados demonstram eficiência e precisão (FIORANI et al., 2012).

No caso de avaliação de caracteres quantitativos, as câmeras RGB demandam alguns cuidados (LEBOURGEOIS et al., 2008). Devido a variação das condições ambientais no momento da tomada de imagens, como luminosidade, presença de nuvens, chuva e outros, a qualidade das imagens obtidas podem apresentar distorções. A análise de imagens digitais geralmente é realizada utilizando algoritmos de processamento de cor, e esses são influenciados pelas condições locais de luminosidade, podendo reduzir a precisão e a qualidade dos dados obtidos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material genético e delineamento experimental a campo

Na safra agrícola de 2018/2019 foram avaliados 97 genótipos de soja (83 linhagens e 14 cultivares comerciais) provenientes do programa de melhoramento de soja da empresa Tropical Melhoramento e Genética S. A. (Apêndice 1). Os genótipos apresentam grupo de maturação relativa (GMR) variando entre 5,3 a 7,0 e hábito de crescimento indeterminado.

Os experimentos a campo foram conduzidos em dois locais no Estado do Paraná, nas cidades de Mauá da Serra (23°54'26"S, 51°11'29"W e 1083 metros de altitude) e Campo Mourão (24°02'44"S, 52°22'59"W e 585 metros de altitude). A semeadura foi realizada dia 31 e 29 de outubro de 2018, respectivamente. Para ambos os locais de avaliação foram determinadas as normais climatológicas de temperatura média, temperatura mínima, temperatura máxima e precipitação (Tabela 1). Todos os genótipos foram avaliados quanto a cobertura de dossel vegetativo em 4 diferentes estádios fenológicos (V3-V4, V5-V6, V7-V8 e V9-R1), comprimento de falhas na parcela (em metros lineares) e produtividade de grãos. Em ambos os experimentos, o delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas por uma parcela de 4 linhas com 5 metros de comprimento, com espaçamento de 0,45 metros entre fileiras e densidade populacional de 13 sementes por metro linear. No entanto, as mensurações foram realizadas somente na parcela útil, constituída pelas duas fileiras centrais (4,5 m<sup>2</sup>). Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações e necessidades culturais. A produtividade de grãos (PRO) foi determinada em kg.ha<sup>-1</sup>, com ajuste para 13% de umidade em todas as parcelas.

**Tabela 1** Normais climatológicas de temperatura média (Temp. méd., °C), temperatura mínima (Temp. mín., °C), temperatura máxima (Temp. máx., °C) e precipitação (mm) durante os experimentos em Mauá da Serra e Campo Mourão, Paraná, Brasil. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>

	Mauá da Serra (1083 m de altitude)					Campo Mourão (585 m de altitude)				
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
Temp. méd.	17,9	19,0	19,7	20,7	20,7	20,9	22,0	22,7	23,4	23,4
Temp. mín.	11,6	12,5	13,4	14,8	15,0	14,9	16,3	17,4	18,1	18,4
Temp. máx.	24,2	25,6	26,0	26,6	26,4	26,9	27,8	28,1	28,8	28,5
Precipitação	165	128	170	199	165	163	128	191	175	158

### 3.2 Análise de germinação e vigor das sementes

Amostras representativas de sementes de todos os genótipos avaliados nos experimentos de campo foram avaliadas quanto a qualidade fisiológica antes de serem semeadas. Para tanto, utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso (separados no tempo) com 4 repetições, sendo o bloco considerado o dia de instalação e avaliação dos testes. As sementes utilizadas nos experimentos foram produzidas e beneficiadas sob as mesmas condições, a fim de garantir que as diferenças existentes entre elas sejam apenas de natureza genética. Além do teste padrão de germinação, os testes de vigor realizados foram: teste de primeira contagem, comprimento total de plântulas aos 3 dias, massa seca total de plântulas aos 3 dias, emergência em areia, índice de velocidade de emergência e massa seca total das plântulas em areia.

Para o teste de germinação (GF), foram utilizadas 4 repetições de cinquenta sementes para cada genótipo. As sementes foram semeadas em papel *germitest* umedecido com um volume de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco e mantidas em germinador a 25°C. Foram avaliadas a porcentagem das plântulas normais germinadas no 5º e 8º dias após a semeadura (BRASIL, 2009). No 5º dia, o número de plântulas normais constitui a avaliação da primeira contagem de germinação (PC), e no 8º dia, representou a porcentagem de germinação final do genótipo.

O comprimento total de plântulas aos 3 dias (CT3) foi determinado com o uso de 4 repetições de 10 sementes cada, e essas foram submetidas ao germinador com os mesmos procedimentos da análise anterior. No entanto, no 3º dia após a semeadura as plântulas foram escaneadas em uma impressora de mesa da marca HP SJ200 e analisadas por meio do software para análise de sementes denominado Vigor S (CASTAN et al., 2018), para a determinação do comprimento total de plântulas (hipocótilo e raiz). Somente foram computadas pelo software as plântulas consideradas normais. As demais e as sementes não germinadas foram desconsideradas. A média aritmética das 10 plântulas foi considerada como sendo o valor de cada unidade experimental para comprimento total de plântulas. Depois disso, os cotilédones foram retirados de todas as plântulas e a matéria verde vegetal foi condicionada em embalagens de papel *kraft* e levadas a estufa de circulação forçada de ar a 65°C ± 5°C. As amostras foram mantidas na estufa por aproximadamente 3 dias, até estabilizarem o peso, e a seguir foram pesadas em balança de precisão de 0,001 g para estabelecer a massa seca total aos 3 dias (MS3), expressa em mg.plântula<sup>-1</sup>.

A emergência em areia (EMA) foi determinada usando quatro repetições de 50 sementes, semeadas em bandejas de plástico contendo 5 litros de areia como substrato. O

substrato foi inicialmente umedecido até atingir 60% da capacidade de retenção de água e irrigado diariamente. Foram consideradas emergidas as plântulas que apresentaram os cotilédones acima da superfície do substrato. A avaliação consistiu na porcentagem de plântulas normais emergidas no 8º dia após a semeadura.

O índice de velocidade de emergência (IVE) foi calculado com base na contagem de plântulas emergidas diariamente no teste em areia, sendo um parâmetro adimensional, conforme proposto por Maguire (1962):  $IVE = E1/N1 + E2/N2 + \dots + En/Nn$ , onde: IVE = índice de velocidade de emergência; E1, E2,... En = número de plântulas normais computadas em cada contagem (1, 2, ... n); N1, N2,... Nn = número de dias da semeadura à cada contagem (1, 2, ... n). Após a última contagem diária de emergência (8º dia) as plântulas de cada parcela foram removidas do substrato, acondicionadas em embalagens de papel *kraft* e levadas a estufa de circulação forçada de ar a  $65^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . As amostras permaneceram por 3 dias na estufa e posteriormente foram pesadas em balança de precisão de 0,001 g para estabelecer a massa seca total das plântulas em areia (MSA), expressa em  $\text{g.plântula}^{-1}$ .

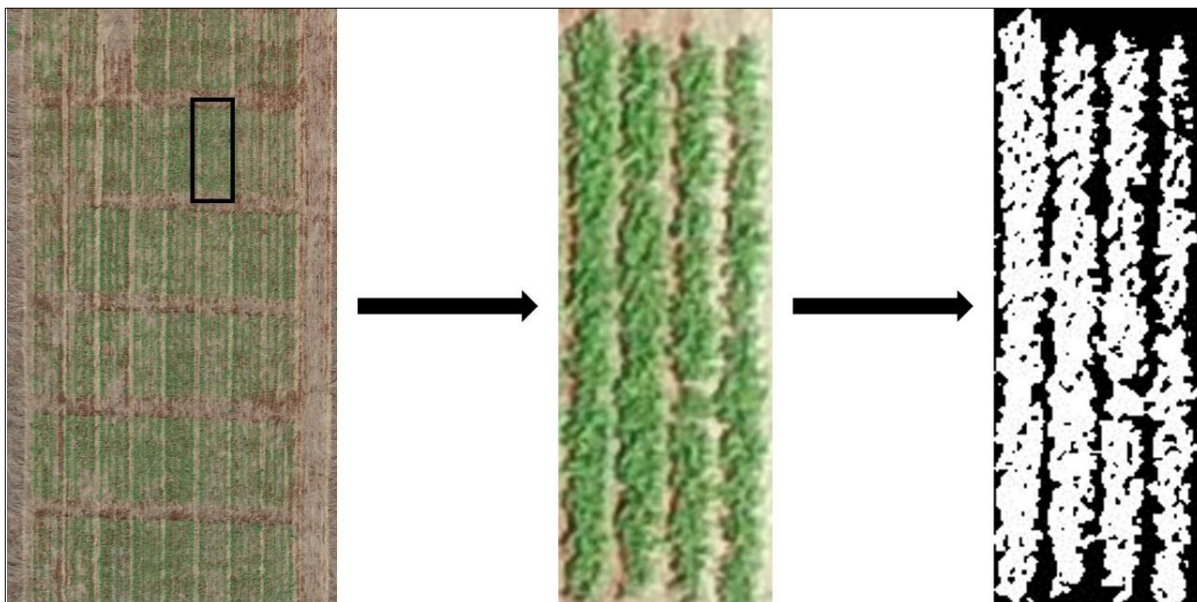
### **3.3 Análise de imagens da cobertura do dossel vegetativo em genótipos de soja**

As imagens foram tomadas usando uma câmera RGB acoplada a um drone Phantom 4 Pro. A construção dos planos de voos foi realizada com o auxílio do aplicativo PIX4D. Os voos foram realizados a uma altura de 80 metros da superfície levando em consideração a declividade do terreno. O primeiro voo foi realizado 30 dias após a emergência das plântulas, quando os genótipos se encontravam em estágio fenológico que variava de V3 a V4 (2ª e 3ª folha trifoliolada completamente desenvolvida). Os voos subsequentes foram realizados nos estádios fenológicos V5-V6, V7-V8 e V9-R1, totalizando 4 voos ao longo do ciclo de cultivo.

As imagens foram realizadas no intervalo entre às 11 horas e 13 horas em todos os voos de avaliação, a fim de garantir a ausência de sombreamento na determinação da cobertura do dossel. Por fim, em estágio pré-colheita (R7-R9) foram determinadas as falhas em metros lineares presentes em cada parcela útil (FAL). As parcelas experimentais foram mantidas livres da presença de plantas daninhas para que a medição da cobertura do dossel, que contabiliza a fração verde da unidade experimental, não fosse superestimada.

Em média, 25 imagens foram obtidas em cada voo para a construção dos ortomosáicos utilizando o programa QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018). Os ortomosaicos foram binarizados e segmentados utilizando o programa ImageJ (SCHNEIDER et al., 2012), que também foi usado para calcular a proporção de pixels verdes em cada parcela experimental. A

proporção de pixels verdes em relação a proporção de pixels totais representou o material vegetal e foi considerada como o valor da cobertura do dossel vegetativo (Figura 1).



**Figura 1** Esquema representativo da determinação da cobertura de dossel por meio de imagens RGB.

### 3.4 Análises estatísticas

Nas análises de variâncias individuais para cada caractere foi adotado o seguinte modelo estatístico:  $Y_{ik} = \mu + g_i + b_k + \epsilon_{ik}$ . Na análise conjunta dos experimentos foi adotado o seguinte modelo estatístico:  $Y_{ijk} = \mu + g_i + a_j + ga_{ij} + b/a_{jk} + \epsilon_{ijk}$ , em que:  $Y_{ijk}$  é o valor da variável resposta referente à observação no genótipo  $i$ , no nível de ambiente  $j$  e bloco  $k$ ;  $\mu$  é a média geral,  $g_i$  é o efeito de genótipo,  $a_j$  é o efeito de ambiente,  $ga_{ij}$  é o efeito da interação entre genótipos e ambientes,  $b_k/a_j$  é o efeito do bloco  $k$  dentro do ambiente  $j$  e  $\epsilon_{ijk}$  é o efeito do erro aleatório associado à observação  $Y_{ijk}$ . Para o caractere comprimento de falhas na parcela útil, a fim de atender as pressuposições da análise de variância, os dados foram transformados por meio da equação:  $(\text{valor do dado} + 0,5)^{0,5}$ .

Os efeitos de genótipos, blocos, interação genótipo x ambiente e erro experimental foram considerados aleatórios e sua significância foi testada pelo teste F da ANOVA. Os efeitos da média geral e de ambientes foram considerados como fixos e sua significância foi testada pelo teste F. Para a comparação de médias, do efeito de genótipo, foi aplicado o teste de agrupamento de médias Scott Knott para cada ambiente. As estimativas de parâmetros genéticos foram obtidas para todos os caracteres avaliados.

A diversidade genética entre os 97 genótipos de soja foi analisada por meio do método de agrupamento da ligação média entre grupos (UPGMA) com base na matriz de dissimilaridade genética obtida pela distância generalizada de Mahalanobis (1936) a partir das médias dos caracteres. O método UPGMA consiste em uma técnica de agrupamento que utiliza médias aritméticas das medidas de dissimilaridade, evitando-se utilizar valores extremos entre os grupos considerados (SOKAL; MICHENER, 1958). Mojena (1977) definiu que a determinação do número de grupos é baseada no tamanho relativo dos níveis de fusões no dendograma, como valor referencial:  $\Theta_k = \bar{\alpha} + k\sigma_\alpha$ , sendo  $\bar{\alpha}$  e  $\sigma_\alpha$  a média e o desvio-padrão dos valores de  $\alpha$ , respectivamente, o valor  $\alpha_j$  de distâncias dos níveis de fusão correspondentes ao estágio j, e k uma constante. Foi adotado o valor de  $k = 1,25$  para definição do número de grupos conforme proposto por Milligan e Cooper (1985), a fim de satisfazer a condição  $\alpha_j > \Theta_k$ . A análise da diversidade foi realizada para cada ambiente separadamente em função da interação genótipo x ambiente significativa, e por esta ser representada predominantemente pela parte complexa.

Por meio da estimação dos componentes de variância foram obtidas as matrizes de correlação genotípica por meio do estimador:  $rg = \frac{\widehat{Cov}_g(xy)}{\sqrt{\hat{\sigma}_{gx}^2 \times \hat{\sigma}_{gy}^2}}$ , em que:  $\widehat{Cov}_g(xy)$  é a covariância genotípica entre os caracteres X e Y,  $\hat{\sigma}_{gx}^2$  e  $\hat{\sigma}_{gy}^2$  são as variâncias genotípicas dos caracteres X e Y, respectivamente. Os coeficientes de correlação genotípicos entre todos os caracteres avaliados foram estimados para cada ambiente e testados a 5% de probabilidade pelo método *bootstrap* com 10 mil simulações. Para cada caractere avaliado, com base nas médias dos dois ambientes obteve-se as estimativas de coeficientes de correlação de Spearman, testados a 5% de probabilidade pelo teste t.

As matrizes das correlações genotípicas foram avaliadas com o uso de rede de correlações. A matriz de adjacência  $A = h(R)$  foi utilizada para determinar as ligações entre as variáveis, com a função:  $h(r_{ij}) = \frac{1}{2} \{SNG(|r_{ij}| - \rho) + 1\}$ , em que  $\rho$  é o parâmetro que determina o valor mínimo para que uma correlação seja representada na rede de correlações. Nesse trabalho, seu valor foi definido como zero, para que todas as relações entre os caracteres fossem traçadas. A espessura da cor das linhas, representa a magnitude da associação entre os caracteres. Foi definido como um valor de corte de 0,60, ou seja, apenas as correlações  $|r_{ij}| \geq 0,60$  têm suas linhas destacadas. As associações positivas foram coloridas em verde e as negativas, em vermelho.

Previamente a realização das análises de diversidade e de trilha, com o intuito de identificar relações lineares entre linhas e colunas da matriz de correlação residual e de correlação genotípica das variáveis explicativas, foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade das mesmas, respectivamente. Os parâmetros sob efeito de colinearidade moderada ou severa, passam a assumir valores sem interpretação biológica (CRUZ; CARNEIRO, 2003). De acordo com a classificação proposta por Montgomery e Peck (2001), o número de condição observado foi considerado como multicolinearidade severa ( $NC > 1000$ ). Diante disso, foi realizado o descarte de caracteres conforme proposto por Jolliffe (1972) e (1973) para tornar possível a realização das análises que envolvem a inversão de matrizes ( $NC < 100$ ).

Dessa maneira, o descarte foi procedido nas variáveis com maiores autovetores nos menores autovalores das matrizes, ou seja, nos caracteres de maior peso nos últimos autovalores. Em ambos os experimentos os mesmos caracteres foram descartados a fim de efeito de comparação na análise de diversidade genética e trilha. Os caracteres considerados foram: produtividade de grãos (PRO,  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), cobertura o dossel vegetativo em V5/V6 (CV5-V6, %), cobertura o dossel vegetativo em V7/V8 (CV7-V8, %), cobertura o dossel vegetativo em V9/R1 (CV9-R1, %), germinação final (GF, %), emergência em areia (EMA, %) e massa seca em areia (MSA, %).

Com o objetivo de identificar caracteres com maiores efeitos diretos sobre a produtividade de grãos (variável principal), a matriz de correlação genotípica das variáveis explicativas (secundárias) foram desdobradas em efeitos diretos e indiretos por meio da análise de trilha (WRIGHT, 1921). Essas análises foram realizadas utilizando o programa Genes (CRUZ, 2016) e o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Análise de variância, amplitude e média dos valores genotípicos**

De acordo com os quadrados médios na análise de variância individual para os caracteres de qualidade fisiológica de sementes, os genótipos de soja diferiram estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste F para todos os caracteres avaliados (Tabela 2). De maneira similar, outros autores constataram que genótipos de soja apresentam variabilidade genética para primeira contagem de germinação, germinação final, comprimento de plântulas, massa seca de plântulas (MARTINS et al., 2016), emergência de plântulas (VASCONCELLOS et al., 2012), índice de velocidade de emergência (SANTOS et al., 2012). Menezes et al. (2009) afirmam que além dos aspectos inerentes ao ambiente que as sementes são produzidas, beneficiadas e armazenadas, o efeito genotípico é de suma importância para a qualidade fisiológica de sementes.

Os coeficientes de variação (CV%) obtidos variaram de 4,47% (GF) a 30,12% (MS3). De acordo com Cargnelutti e Storck (2009) o coeficiente de variação é uma estatística de precisão associada à média e a variância residual. Nesse sentido, seus valores podem estar associados aos valores médios das variáveis ou do comportamento desuniforme das sementes dos genótipos dentro dos testes. Os dois caracteres com menor precisão experimental, MS3 (30,12%) e CT3 (18,94%), foram mensuradas em fase precoce no desenvolvimento das plântulas, aos 3 dias. Nesse caso, o objetivo foi identificar diferenças de vigor entre os genótipos em fase inicial. Por apresentarem pequenos valores, as variações entre as repetições se tornaram mais pronunciadas. Valores semelhantes de coeficiente de variação para comprimento e massa seca de plântulas foram observados por outros autores (VANZOLINI et al., 2007). Dessa maneira, o CV% é influenciado principalmente pelo caractere em avaliação e a interpretação da magnitude também é dependente deste. Os demais caracteres, apresentaram alta precisão e controle experimental.

Quanto a amplitude de valores fenotípicos observados, constata-se que, quando todo o conjunto de genótipos é considerado, a média tanto de PC como de GF é superior ao limite mínimo estabelecido para a comercialização de sementes genéticas de soja (75%) e certificadas (80%) segundo o anexo XXIII da instrução número 45 de 2013 do MAPA. No entanto, valores mínimos próximos aos 50% são observados nas duas categorias, indicando alta variabilidade para esses caracteres. Santorum et al. (2013) compararam diferentes testes de vigor em sementes de soja e sua relação com o desempenho a campo, e concluíram que tanto o EMA

como o IVE são mais correlacionados com o desempenho de plântulas a campo. No presente estudo esses caracteres apresentaram alta discrepância, EMA (40 a 100%) e IVE (2,43 a 9,33), ressaltando as diferenças entre os materiais avaliados. Consequentemente, como houve alta variação para EMA, os valores de MSA também foram pronunciados (1,22 a 5,67 g). O caractere CT3 apresentou variação de 0,87 a 12,05 cm.

Marcos Filho (2015) fazendo um paralelo a respeito de vários testes de vigor disponíveis, informa que a combinação de um maior conjunto de caracteres para a determinação da qualidade fisiológica é imprescindível para obter maior verossimilidade na avaliação de genótipos.

**Tabela 2** Análise de variância individual e amplitude de valores para primeira contagem de germinação (PC, %), germinação final (GF, %), comprimento total de plântulas aos 3 dias (CT3, cm), massa seca total de plântulas aos 3 dias (MS3, mg), emergência em areia (EMA, %), índice de velocidade de emergência (IVE) e massa seca total de plântulas em areia (MSA, g) avaliados em 97 genótipos de soja.

Caractere	Sementes				
	QMG	Mínimo	Máximo	Média	<sup>1</sup> CV
PC	0,02*	48,00	100,00	91,12	4,70
GF	0,02*	48,00	100,00	91,96	4,47
CT3	11,23*	0,87	12,05	7,00	18,94
MS3	0,01*	0,01	0,21	0,09	30,12
EMA	0,03*	40,00	100,00	91,73	6,77
IVE	3,25*	2,43	9,33	6,66	10,02
MSA	0,91*	1,22	5,66	3,41	13,44

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p=0,05$ ); <sup>1</sup>Coefficiente de variação (%).

Em relação as análises de variância individuais para os caracteres mensurados nos dois ambientes, Mauá da Serra e Campo Mourão, os genótipos apresentaram variância significativa para todos os caracteres analisados (Tabela 3). A existência de variabilidade genética para cobertura de dossel em soja em diferentes fases do desenvolvimento da cultura também foi constatada por vários outros autores (KALER et al., 2018; HOWARD; JARQUIN, 2019; XAVIER et al., 2017). A produtividade de grãos, característica de grande importância na seleção de linhagens em programas de melhoramento, apresentou variação de 4071,49 a 6872,28 kg.ha<sup>-1</sup> e 4215,72 a 6788,97 kg.ha<sup>-1</sup>, em Mauá da Serra e Campo Mourão, respectivamente. Matei et al. (2017) avaliando o desempenho agrônômico de 46 cultivares modernas de soja em multi-ambientes nas mesmas macrorregiões destes experimentos,

encontraram uma faixa de variação para produtividade de grãos inferior, com variação de 2876 a 4770 kg.ha<sup>-1</sup>, entre os oito ambientes avaliados. Além disso, esses mesmos autores observam uma alta amplitude de variação produtiva da mesma cultivar ao decorrer dos oito ambientes. Embora os experimentos pertencem a mesma macrorregião produtora de soja, a interação genótipo x ambiente ocorre.

Na comparação entre os dois ambientes, a amplitude para cobertura de dossel foi bastante divergente. Em Mauá da Serra a cobertura de dossel foi inferior à observada em Campo Mourão em todos os estádios fenológicos avaliados (Tabela 3). Isso evidencia desenvolvimento vegetativo mais lento em Mauá da Serra em comparação com Campo Mourão. Os valores médios para cobertura de dossel em Mauá da Serra foram 33,50%, 33,36%, 61,83% e 71,97% para os estágios V3-V4, V5-V6, V7-V8, V9-R1, respectivamente. Em Campo Mourão os valores médios de cobertura de dossel nos mesmos estádios fenológicos foram 39,14% (V3-V4), 58,74% (V5-V6), 75,63% (V7-V8) e 80,89% (V9-R1).

Pelo fato de a cobertura de dossel em soja ser um caractere quantitativo, muito influenciado pelo ambiente, esses resultados podem ser explicados principalmente em função da diferença de altitude entre os dois locais, visto que no ambiente mais alto (Mauá da Serra), os valores de temperatura máxima, mínima e média das normais climatológicas foram consideravelmente mais baixos (Tabela 1). Temperaturas amenas ou abaixo da faixa ótima para a soja (25 a 30°C) ocasionam menor crescimento vegetativo e maior intervalo entre o aparecimento de dois nós consecutivos (SETIYONO et al., 2007; ROCHA et al., 2018; STRECK et al., 2008).

O caractere comprimento de falhas na parcela útil, que reflete irregularidades no momento da sementeira e/ou a falta da capacidade do genótipo em cobrir toda a área de solo da parcela, apresentou maiores valores médios no ambiente de Campo Mourão. No entanto, considerando a amplitude de falhas em ambos os ambientes os resultados foram muito similares.

Com exceção do caractere comprimento de falhas na parcela útil, os coeficientes de variação foram considerados baixos para todas as demais características avaliadas, indicando elevada precisão experimental. Em Mauá da Serra o coeficiente de variação experimental variou de 4,09 a 25,93%, enquanto que em Campo Mourão, a variação foi de 4,97 a 22,74%. Storck et al. (2010) avaliando diferentes medidas da precisão experimental em 216 experimentos de competição de genótipos de soja observou uma amplitude do coeficiente de

variação para produtividade de grãos de 3,50 a 33,90%. Diante disso, pode-se constatar que a estimativa da produtividade de grãos nos ambientes avaliados apresentou alta precisão.

**Tabela 3** Análise de variância individual e amplitude de valores para produtividade de grãos (PRO, kg.ha<sup>-1</sup>), cobertura do dossel vegetativo em V3/V4 (CV3-V4, %), cobertura do dossel vegetativo em V5/V6 (CV5-V6, %), cobertura do dossel vegetativo em V7/V8 (CV7-V8, %), cobertura do dossel vegetativo em V9/R1 (CV9-R1, %) e comprimento de falhas na parcela útil (FAL, m lineares) avaliados em 97 genótipos de soja nas cidades de Mauá da Serra e Campo Mourão, Paraná, Brasil na safra 2018/2019.

Caractere	Mauá dá Serra					Campo Mourão				
	QMG	Mínimo	Máximo	Média	<sup>1</sup> CV	QMG	Mínimo	Máximo	Média	CV
PRO	540965,83*	4071,49	6872,28	5426,63	4,09	461769,42*	4215,72	6788,97	5654,10	4,97
CV3-V4	47,78*	18,82	47,57	33,50	9,35	107,00*	26,65	67,52	39,14	16,22
CV5-V6	38,38*	18,11	58,56	33,36	10,98	161,43*	34,89	77,17	58,74	10,36
CV7-V8	225,86*	36,22	83,59	61,83	6,90	108,88*	49,31	85,68	75,63	4,91
CV9-R1	53,82*	47,11	83,42	71,97	5,57	12,63*	68,73	88,39	80,89	3,29
FAL	0,15*	0,71	2,03	0,97	25,93	0,13*	0,71	2,07	1,17	22,74

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F (p= 0,05); <sup>1</sup>Coefficiente de variação (%).

A aplicação do teste de agrupamento de Scott Knott possibilitou a estratificação dos genótipos em 6 diferentes grupos para o caractere PRO, 4 grupos para CV3-V4, 2 grupos para CV5-V6, 6 grupos para CV7-V8 e 3 grupos para CV9-R1 no ambiente Mauá da Serra (Tabela 4). Enquanto que para o ambiente Campo Mourão (Tabela 5), os genótipos foram agrupados em 5 diferentes grupos para PRO, 2 grupos para CV3-V4, 4 grupos para CV5-V6, 4 grupos para CV7-V8 e 2 grupos para CV9-R1. Esses resultados corroboram com os encontrados na análise de diversidade genética nos dendogramas representados na Figura 2 e 3, indicando a presença de variabilidade genética para os caracteres mensurados a campo, imprescindível para a identificação de caracteres que possam ser usados na seleção indireta para produtividade de grãos em soja. O nome das cultivares comerciais foi codificado no teste de agrupamento de médias, pois o objetivo deste estudo não foi classificar os genótipos.

Os genótipos mais produtivos em Mauá da Serra foram a L-28 (6487,70 kg.ha<sup>-1</sup>), seguido por CV-G (6321, 52 kg.ha<sup>-1</sup>), L-56 (6243,20 kg.ha<sup>-1</sup>) e CV-B (6232,91 kg.ha<sup>-1</sup>). Já para o outro ambiente, Campo Mourão, os genótipos que apresentaram o melhor desempenho quanto ao caractere PRO foram o CV-F (6541,90 kg.ha<sup>-1</sup>), seguidos por L-41 (6317,56 kg.ha<sup>-1</sup>), L-05 (6314,97 kg.ha<sup>-1</sup>) e CV-G (6181, 87 kg.ha<sup>-1</sup>), não diferindo estatisticamente de outros 12 genótipos.

**Tabela 4** Médias dos caracteres de produtividade de grãos (PRO, kg.ha<sup>-1</sup>), cobertura do dossel vegetativo em V3/V4 (CV3-V4, %), cobertura do dossel vegetativo em V5/V6 (CV5-V6, %), cobertura do dossel vegetativo em V7/V8 (CV7-V8, %) e cobertura do dossel vegetativo em V9/R1 (CV9-R1, %) avaliados em 97 genótipos de soja na cidade de Mauá da Serra, Paraná, Brasil na safra de 2018/2019.

Genótipo	PRO	CV3-V4	CV5-V6	CV7-V8	CV9-R1	Genótipo	PRO	CV3-V4	CV5-V6	CV7-V8	CV9-R1
<b>CV-A</b>	4246,46 f	32,17 c	29,95 b	57,06 d	78,53 a	<b>L-37</b>	5395,93 d	25,02 d	25,07 b	48,36 f	69,71 b
<b>CV-B</b>	6232,91 a	30,36 c	30,59 b	62,16 c	69,05 b	<b>L-38</b>	5312,53 d	37,31 a	36,09 a	67,72 b	71,11 b
<b>CV-C</b>	5418,61 d	31,17 c	30,81 b	58,32 d	69,06 b	<b>L-39</b>	6022,65 b	37,29 a	37,71 a	75,54 a	73,26 a
<b>CV-D</b>	5333,15 d	29,69 c	30,99 b	54,58 d	75,44 a	<b>L-40</b>	5452,17 d	38,68 a	35,45 a	64,03 c	72,56 a
<b>CV-E</b>	5743,31 c	33,44 b	31,19 b	56,86 d	76,03 a	<b>L-41</b>	5912,66 b	37,34 a	36,98 a	69,42 a	69,91 b
<b>CV-F</b>	5845,62 c	30,16 c	29,54 b	52,87 e	70,53 b	<b>L-42</b>	5768,98 c	34,26 b	33,55 b	62,09 c	68,53 b
<b>CV-G</b>	6321,53 a	35,47 b	37,85 a	63,48 c	72,61 a	<b>L-43</b>	5472,99 c	33,29 b	32,94 b	59,95 d	76,29 a
<b>CV-H</b>	4681,88 e	31,72 c	35,54 a	57,09 d	73,11 a	<b>L-44</b>	5574,09 c	33,72 b	32,40 b	63,37 c	74,96 a
<b>CV-I</b>	5598,31 c	35,49 b	37,13 a	71,41 a	70,13 b	<b>L-45</b>	5802,29 c	33,09 b	31,67 b	59,42 d	73,12 a
<b>CV-J</b>	5078,64 d	30,12 c	32,54 b	53,27 e	65,31 c	<b>L-46</b>	5290,23 d	35,24 b	33,84 a	62,44 c	74,71 a
<b>CV-K</b>	4558,06 f	35,61 b	34,31 a	58,33 d	71,44 b	<b>L-47</b>	6004,60 b	32,72 c	35,91 a	65,27 c	69,88 b
<b>CV-L</b>	5198,35 d	31,01 c	29,35 b	50,18 e	74,45 a	<b>L-48</b>	5629,04 c	34,75 b	33,36 b	59,08 d	73,75 a
<b>CV-M</b>	5099,32 d	28,65 c	29,75 b	46,97 f	68,57 b	<b>L-49</b>	5507,34 c	39,02 a	37,63 a	76,58 a	72,80 a
<b>CV-N</b>	5743,28 c	37,00 a	36,23 a	68,17 b	70,03 b	<b>L-50</b>	5491,99 c	33,74 b	30,60 b	60,84 d	71,66 b
<b>L-01</b>	5249,13 d	33,21 b	32,17 b	61,07 d	75,98 a	<b>L-51</b>	5405,08 d	35,66 b	34,09 a	63,55 c	74,39 a
<b>L-02</b>	5806,41 c	38,39 a	32,84 b	72,50 a	74,27 a	<b>L-52</b>	5245,95 d	32,49 c	32,30 b	62,61 c	73,30 a
<b>L-03</b>	4960,75 e	37,96 a	35,37 a	73,91 a	73,09 a	<b>L-53</b>	5735,21 c	35,98 a	39,23 a	76,80 a	78,35 a
<b>L-04</b>	5453,23 d	37,83 a	37,23 a	63,14 c	66,04 c	<b>L-54</b>	5242,64 d	30,27 c	29,49 b	56,14 d	65,03 c
<b>L-05</b>	5662,23 c	34,10 b	36,30 a	62,23 c	66,81 c	<b>L-55</b>	5595,63 c	33,99 b	34,49 a	64,87 c	73,62 a
<b>L-06</b>	5205,55 d	26,14 d	27,23 b	46,68 f	67,51 c	<b>L-56</b>	6243,20 a	26,01 d	26,91 b	63,64 c	64,77 c
<b>L-07</b>	5314,81 d	35,65 b	37,36 a	76,72 a	72,09 a	<b>L-57</b>	5562,54 c	32,75 c	32,43 b	65,85 b	71,66 b
<b>L-08</b>	5480,82 c	34,48 b	31,94 b	62,33 c	66,26 c	<b>L-58</b>	5663,56 c	22,72 d	24,08 b	41,78 f	64,85 c
<b>L-09</b>	5286,81 d	31,93 c	33,21 b	57,44 d	68,51 b	<b>L-59</b>	5500,25 c	33,63 b	32,68 b	64,43 c	77,48 a
<b>L-10</b>	5576,07 c	33,19 b	41,46 a	56,43 d	73,94 a	<b>L-60</b>	5081,87 d	36,33 a	31,86 b	61,65 d	75,68 a
<b>L-11</b>	5331,93 d	39,44 a	37,51 a	72,20 a	81,10 a	<b>L-61</b>	5067,09 d	31,66 c	31,60 b	59,05 d	77,48 a

<b>L-12</b>	5650,09	c	32,36	c	35,44	a	60,54	d	70,49	b	<b>L-62</b>	5349,84	d	41,24	a	38,44	a	73,83	a	68,44	b	
<b>L-13</b>	5678,38	c	33,29	b	34,64	a	58,54	d	72,16	a	<b>L-63</b>	5518,47	c	34,39	b	34,71	a	67,23	b	74,35	a	
<b>L-14</b>	5578,41	c	31,60	c	31,47	b	57,70	d	74,68	a	<b>L-64</b>	5390,12	d	37,31	a	35,05	a	73,51	a	67,69	c	
<b>L-15</b>	5444,01	d	35,52	b	37,80	a	68,99	b	69,25	b	<b>L-65</b>	5712,41	c	37,46	a	37,45	a	68,35	b	71,08	b	
<b>L-16</b>	5274,29	d	28,22	c	30,06	b	48,40	f	63,67	c	<b>L-66</b>	5193,08	d	36,06	a	30,01	b	63,32	c	72,08	a	
<b>L-17</b>	5041,98	d	36,59	a	32,98	b	63,75	c	69,95	b	<b>L-67</b>	5038,53	d	36,76	a	36,67	a	60,84	d	70,69	b	
<b>L-18</b>	5439,56	d	35,59	b	31,64	b	60,93	d	72,47	a	<b>L-68</b>	4974,09	e	32,71	c	32,74	b	58,07	d	70,64	b	
<b>L-19</b>	5411,64	d	30,01	c	29,40	b	56,23	d	67,45	c	<b>L-69</b>	5326,23	d	32,58	c	35,81	a	60,57	d	71,36	b	
<b>L-20</b>	5937,21	b	32,12	c	32,33	b	67,76	b	71,02	b	<b>L-70</b>	5347,29	d	37,81	a	35,62	a	68,88	b	75,93	a	
<b>L-21</b>	5450,18	d	34,23	b	32,72	b	69,45	a	70,18	b	<b>L-71</b>	5207,89	d	32,71	c	33,50	b	55,27	d	75,95	a	
<b>L-22</b>	5642,74	c	34,94	b	33,75	a	76,76	a	73,05	a	<b>L-72</b>	4827,08	e	30,72	c	31,81	b	58,22	d	71,91	a	
<b>L-23</b>	5283,53	d	31,98	c	30,90	b	59,12	d	70,40	b	<b>L-73</b>	5665,29	c	33,18	b	33,44	b	57,46	d	78,30	a	
<b>L-24</b>	5117,46	d	32,90	b	33,89	a	52,72	e	70,17	b	<b>L-74</b>	4885,62	e	38,25	a	36,74	a	72,92	a	65,52	c	
<b>L-25</b>	5243,33	d	29,60	c	30,19	b	54,24	d	71,02	b	<b>L-75</b>	5123,92	d	33,67	b	32,13	b	59,30	d	73,05	a	
<b>L-26</b>	4979,88	e	29,45	c	31,49	b	50,54	e	70,14	b	<b>L-76</b>	5540,00	c	29,67	c	29,22	b	62,74	c	78,70	a	
<b>L-27</b>	5766,26	c	32,53	c	33,43	b	61,65	d	72,18	a	<b>L-77</b>	5146,46	d	35,78	b	34,16	a	68,04	b	74,44	a	
<b>L-28</b>	6487,70	a	35,13	b	33,18	b	64,26	c	67,47	c	<b>L-78</b>	5074,63	d	26,34	d	29,23	b	45,28	f	69,69	b	
<b>L-29</b>	5230,04	d	32,98	b	32,18	b	57,38	d	75,36	a	<b>L-79</b>	5678,73	c	36,24	a	36,34	a	69,66	a	72,62	a	
<b>L-30</b>	5656,98	c	37,37	a	37,01	a	73,49	a	75,11	a	<b>L-80</b>	4894,52	e	34,29	b	33,05	b	63,18	c	76,87	a	
<b>L-31</b>	5599,30	c	33,33	b	33,52	b	60,23	d	76,09	a	<b>L-81</b>	5401,83	d	36,15	a	37,09	a	68,67	b	71,29	b	
<b>L-32</b>	5359,07	d	23,40	d	31,22	b	52,03	e	63,93	c	<b>L-82</b>	5366,78	d	34,51	b	30,51	b	66,90	b	69,82	b	
<b>L-33</b>	5875,45	c	31,97	c	34,04	a	59,73	d	73,11	a	<b>L-83</b>	5272,55	d	35,68	b	35,36	a	62,44	c	75,34	a	
<b>L-34</b>	4785,21	e	34,21	b	35,60	a	57,07	d	76,84	a												
<b>L-35</b>	5277,40	d	35,34	b	36,66	a	58,52	d	73,80	a												
<b>L-36</b>	5830,50	c	30,54	c	30,84	b	53,03	e	76,26	a												

\*Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (valor p= 0,05).

**Tabela 5** Médias dos caracteres de produtividade de grãos (PRO, kg.ha<sup>-1</sup>), cobertura do dossel vegetativo em V3/V4 (CV3-V4, %), cobertura do dossel vegetativo em V5/V6 (CV5-V6, %), cobertura do dossel vegetativo em V7/V8 (CV7-V8, %) e cobertura do dossel vegetativo em V9/R1 (CV9-R1, %) avaliados em 97 genótipos de soja na cidade de Campo Mourão, Paraná, Brasil na safra de 2018/2019.

Genótipo	PRO	CV3-V4	CV5-V6	CV7-V8	CV9-R1	Genótipo	PRO	CV3-V4	CV5-V6	CV7-V8	CV9-R1
<b>CV-A</b>	5435,67 c	38,57 b	55,65 c	69,90 b	80,99 a	<b>L-37</b>	5437,95 c	44,97 a	43,27 d	59,33 d	79,37 b
<b>CV-B</b>	5927,29 b	33,47 b	57,87 c	74,49 b	79,66 b	<b>L-38</b>	5953,96 b	39,06 b	69,23 a	80,51 a	83,26 a
<b>CV-C</b>	6089,95 a	32,78 b	60,19 b	79,24 a	81,10 a	<b>L-39</b>	5899,50 b	41,65 a	66,20 a	78,98 a	83,47 a
<b>CV-D</b>	5534,11 c	40,79 a	50,39 d	70,71 b	79,89 b	<b>L-40</b>	5630,70 c	37,09 b	68,03 a	80,38 a	82,93 a
<b>CV-E</b>	6065,79 a	34,96 b	52,96 c	72,78 b	82,75 a	<b>L-41</b>	6317,56 a	36,30 b	70,22 a	82,97 a	84,08 a
<b>CV-F</b>	6541,90 a	32,75 b	51,35 c	72,43 b	79,49 b	<b>L-42</b>	6180,96 a	40,46 a	62,44 b	79,68 a	81,78 a
<b>CV-G</b>	6181,87 a	36,30 b	53,50 c	76,27 a	83,88 a	<b>L-43</b>	5385,83 c	44,61 a	57,51 c	75,29 b	78,00 b
<b>CV-H</b>	5411,36 c	48,85 a	52,21 c	69,70 b	82,26 a	<b>L-44</b>	5587,16 c	50,12 a	62,70 b	78,56 a	81,14 a
<b>CV-I</b>	6145,71 a	37,87 b	63,60 b	77,74 a	82,06 a	<b>L-45</b>	5856,73 b	44,26 a	55,43 c	68,00 c	80,69 b
<b>CV-J</b>	4962,28 e	38,17 b	56,47 c	70,69 b	80,05 b	<b>L-46</b>	5902,42 b	38,79 b	63,42 b	79,19 a	82,87 a
<b>CV-K</b>	5539,81 c	34,30 b	66,25 a	78,44 a	80,05 b	<b>L-47</b>	5716,40 b	39,14 b	55,22 c	76,91 a	81,07 a
<b>CV-L</b>	5716,14 b	42,02 a	56,03 c	75,24 b	82,46 a	<b>L-48</b>	5636,36 c	34,04 b	62,64 b	79,50 a	80,92 a
<b>CV-M</b>	6059,10 a	36,16 b	55,64 c	75,40 b	80,62 b	<b>L-49</b>	6061,12 a	36,11 b	68,57 a	82,56 a	84,69 a
<b>CV-N</b>	5819,41 b	30,65 b	60,77 b	76,91 a	83,11 a	<b>L-50</b>	5651,20 c	36,48 b	60,04 b	77,71 a	82,32 a
<b>L-01</b>	5762,63 b	38,47 b	62,85 b	79,87 a	81,67 a	<b>L-51</b>	5272,84 c	33,41 b	66,92 a	78,35 a	81,51 a
<b>L-02</b>	5749,53 b	35,46 b	59,40 b	79,01 a	82,58 a	<b>L-52</b>	4537,69 e	43,05 a	48,48 d	69,81 b	76,81 b
<b>L-03</b>	5214,59 d	34,06 b	65,33 a	78,18 a	81,82 a	<b>L-53</b>	5770,12 b	41,51 a	71,77 a	78,53 a	82,22 a
<b>L-04</b>	5287,88 c	38,02 b	54,97 c	74,46 b	80,60 b	<b>L-54</b>	5440,48 c	41,55 a	49,53 d	72,79 b	78,45 b
<b>L-05</b>	6314,97 a	41,52 a	64,81 a	80,89 a	81,27 a	<b>L-55</b>	5879,68 b	35,01 b	62,88 b	77,71 a	78,94 b
<b>L-06</b>	5332,40 c	44,66 a	45,90 d	64,76 c	79,33 b	<b>L-56</b>	5793,96 b	45,48 a	49,79 d	70,48 b	77,25 b
<b>L-07</b>	5778,21 b	34,06 b	56,70 c	77,04 a	79,42 b	<b>L-57</b>	5725,09 b	45,35 a	54,53 c	77,16 a	82,06 a
<b>L-08</b>	5974,86 b	40,63 a	60,97 b	77,44 a	81,93 a	<b>L-58</b>	5133,27 d	56,83 a	46,84 d	58,32 d	77,62 b
<b>L-09</b>	6039,68 a	31,38 b	62,53 b	78,96 a	82,81 a	<b>L-59</b>	5932,18 b	45,47 a	60,26 b	78,75 a	79,65 b
<b>L-10</b>	6063,59 a	37,06 b	58,47 b	81,33 a	83,64 a	<b>L-60</b>	5952,58 b	37,19 b	63,50 b	79,12 a	82,97 a
<b>L-11</b>	5461,45 c	32,14 b	65,48 a	79,59 a	80,62 b	<b>L-61</b>	4934,04 e	47,40 a	56,51 c	73,99 b	81,34 a
<b>L-12</b>	5650,60 c	32,82 b	65,58 a	78,75 a	79,21 b	<b>L-62</b>	5729,58 b	34,17 b	70,23 a	81,22 a	83,51 a

<b>L-13</b>	6013,30	a	34,79	b	70,45	a	80,04	a	80,53	b	<b>L-63</b>	6014,05	a	40,31	a	55,83	c	74,18	b	80,12	b
<b>L-14</b>	5573,35	c	42,12	a	54,06	c	71,78	b	81,21	a	<b>L-64</b>	5709,26	b	34,66	b	67,29	a	80,76	a	82,05	a
<b>L-15</b>	5667,65	b	37,70	b	63,32	b	76,10	a	80,78	a	<b>L-65</b>	5758,39	b	34,66	b	65,73	a	81,27	a	82,61	a
<b>L-16</b>	5355,08	c	47,95	a	46,67	d	73,55	b	79,91	b	<b>L-66</b>	5895,49	b	40,82	a	59,70	b	78,02	a	82,71	a
<b>L-17</b>	5514,67	c	33,63	b	55,35	c	73,21	b	80,53	b	<b>L-67</b>	5519,30	c	37,16	b	57,16	c	77,86	a	82,63	a
<b>L-18</b>	5891,03	b	39,62	b	58,50	b	77,86	a	81,48	a	<b>L-68</b>	5534,80	c	35,72	b	58,80	b	74,19	b	80,95	a
<b>L-19</b>	5350,68	c	45,62	a	54,36	c	73,44	b	81,19	a	<b>L-69</b>	6104,39	a	35,05	b	61,78	b	78,48	a	83,39	a
<b>L-20</b>	5956,48	b	42,97	a	60,18	b	76,66	a	81,05	a	<b>L-70</b>	5651,89	c	41,67	a	64,84	a	79,55	a	79,90	b
<b>L-21</b>	5556,99	c	35,68	b	58,96	b	75,86	b	80,90	a	<b>L-71</b>	5459,11	c	43,12	a	55,89	c	75,40	b	80,15	b
<b>L-22</b>	5542,42	c	42,13	a	62,02	b	76,68	a	80,20	b	<b>L-72</b>	5420,25	c	40,14	a	60,88	b	77,89	a	76,92	b
<b>L-23</b>	5701,04	b	45,79	a	53,69	c	73,63	b	81,05	a	<b>L-73</b>	5601,80	c	44,62	a	58,38	b	73,67	b	83,24	a
<b>L-24</b>	5426,55	c	33,91	b	60,93	b	76,39	a	80,43	b	<b>L-74</b>	5373,08	c	30,79	b	63,84	b	78,06	a	80,61	b
<b>L-25</b>	5809,22	b	34,74	b	54,13	c	74,30	b	79,88	b	<b>L-75</b>	5513,95	c	33,94	b	55,21	c	77,68	a	81,11	a
<b>L-26</b>	5514,43	c	37,70	b	58,89	b	77,87	a	80,12	b	<b>L-76</b>	5414,69	c	48,48	a	58,18	c	74,36	b	82,61	a
<b>L-27</b>	5241,88	d	44,55	a	57,23	c	73,56	b	78,71	b	<b>L-77</b>	5574,94	c	36,35	b	60,31	b	78,30	a	78,70	b
<b>L-28</b>	5702,34	b	33,63	b	58,90	b	78,83	a	82,63	a	<b>L-78</b>	4931,87	e	44,76	a	42,83	d	57,71	d	76,76	b
<b>L-29</b>	5192,74	d	41,32	a	57,33	c	73,38	b	79,93	b	<b>L-79</b>	6080,51	a	37,50	b	59,57	b	79,74	a	82,16	a
<b>L-30</b>	5895,55	b	36,18	b	66,89	a	79,07	a	78,50	b	<b>L-80</b>	5649,13	c	30,86	b	59,28	b	76,40	a	79,93	b
<b>L-31</b>	5695,75	b	37,02	b	54,78	c	76,66	a	79,48	b	<b>L-81</b>	5444,05	c	33,71	b	63,96	b	80,77	a	79,16	b
<b>L-32</b>	5232,14	d	46,42	a	39,53	d	53,96	d	76,15	b	<b>L-82</b>	5370,75	c	45,70	a	51,82	c	64,26	c	81,40	a
<b>L-33</b>	5401,32	c	45,98	a	57,57	c	74,97	b	80,83	a	<b>L-83</b>	5558,81	c	36,18	b	54,43	c	74,85	b	78,34	b
<b>L-34</b>	4932,23	e	45,97	a	56,40	c	73,99	b	82,06	a											
<b>L-35</b>	5465,36	c	34,25	b	58,15	c	78,86	a	79,51	b											
<b>L-36</b>	5855,35	b	43,25	a	62,05	b	76,06	a	81,53	a											

\*Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (valor p= 0,05).

A relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo (QMR) para os caracteres considerados na análise conjunta foram: 1,60 (PRO), 4,11 (CV3-V4), 2,76 (CV5-V6), 1,32 (CV7-V8), 2,28 (CV9-R1) e 1,11 (FAL). Como a relação dos QMR < 7, foi possível realizar a análise de variância conjunta (PIMENTEL GOMES, 2009). A interação genótipo x ambiente foi significativa (valor de  $p < 0,05$ ) para PRO, CV3-V4, CV5-V6, CV7-V7 e CV9-R1, indicando a ocorrência de respostas diferenciada dos genótipos de soja em função da variação ambiental para estes caracteres (Tabela 6). Somente o comprimento de falha na parcela útil (FAL) não apresentou interação significativa dos genótipos nos ambientes avaliados.

Para tanto, em função da interação genótipo x ambiente detectada, as análises de diversidade genética, correlações genótípicas entre os caracteres e da decomposição dos efeitos diretos e indiretos (análise de trilha) foram realizadas separadamente para cada ambiente avaliado.

**Tabela 6** Análise de variância conjunta para produtividade de grãos (PRO,  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), cobertura do dossel vegetativo em V3/V4 (CV3-V4, %), cobertura do dossel vegetativo em V5/V6 (CV5-V6, %), cobertura do dossel vegetativo em V7/V8 (CV7-V8, %), cobertura do dossel vegetativo em V9/R1 (CV9-R1, %) e número de falhas na parcela útil (FAL, m lineares) avaliados em 97 genótipos de soja nas cidades de Mauá da Serra e Campo Mourão, Paraná, Brasil na safra 2018/2019.

FV	GL	Quadrado médio - Conjunta					
		PRO	CV3-V4	CV5-V6	CV7-V8	CV9-R1	FAL
BI/Ambiente	6	24211,34	16,29	64,72	29,71	168,26	0,17
Genótipo (G)	96	727548,72*	39,46*	150,25*	258,10*	37,82*	0,22*
Ambiente (A)	1	10038000,06 <sup>ns</sup>	6159,72 <sup>ns</sup>	124965,08*	36939,94*	15442,48*	7,44*
G x A	96	275186,53*	115,33*	49,56*	76,64*	28,62*	0,06 <sup>ns</sup>
Resíduo	576	64192,77	25,06	25,21	15,99	11,58	0,07
Média		5540,37	36,32	46,05	68,73	76,43	1,07
<sup>1</sup> CV		4,57	13,78	10,90	5,82	4,45	24,19

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F ( $p = 0,05$ ); <sup>ns</sup>Não significativo; <sup>1</sup>Coefficiente de variação (%).

#### 4.2 Estimativa dos parâmetros genéticos

A interação G x A é composta por uma parte simples, ocasionada pela diferença de magnitude de resposta dos genótipos nos ambientes e, por uma parte complexa, que reflete a falta de correlação de resposta genotípica entre os ambientes avaliados ou a alteração nas recomendações (CRUZ; CASTOLDI, 1991). A decomposição do componente de variância da interação G x A ( $\hat{\sigma}_{ga}^2$ ) na análise conjunta mostrou que, para os caracteres com efeitos significativos da interação, somente CV5-V6 apresenta predominância da interação G x A do

tipo simples (<50%). Para os demais, todos os seus valores são superiores a 50%, refletindo predominância de interação do tipo complexa (Tabela 7). Diante disso, a análise pormenorizada em cada ambiente deve ser adotada.

Em estudos que têm por objetivo a identificação de caracteres secundários para resposta correlacionada em programas de melhoramento genético, é fundamental que os genótipos a serem melhorados apresentem variabilidade genética nos caracteres auxiliares. Considerar a precisão experimental, a facilidade da mensuração do caractere e a praticidade para obtenção dos dados fenotípicos são de extrema importância. No entanto, o caractere precisa exibir variação para que seja possível a obtenção de ganhos genéticos (CRUZ et al., 2012).

Nesse estudo, todos os caracteres auxiliares que foram testados para averiguar sua correlação com a produtividade de grãos, caracteres relacionados a qualidade fisiológica de sementes e a cobertura de dossel em diferentes estádios de desenvolvimento, apresentaram componentes de variâncias genotípicas significativos nas análises individuais ( $p < 0,05$ ) (Tabela 7). Uma das principais desvantagens que o Método dos Momentos apresenta na obtenção das esperanças matemáticas é que em alguns casos, pode haver componente de variância negativo (BARBIN, 1998). Diante disso, uma das alternativas é considerar seu valor como nulo, por isso o valor admitido para FAL foi zero.

As estimativas de herdabilidade ( $\hat{h}^2$ ) para os caracteres relacionados com a qualidade fisiológica de sementes, apresentaram variação de 0,74 (MS3) a 0,92 (GF), ou seja, todas as estimativas foram superiores a 0,70. Os altos valores das estimativas são resultado da alta correlação existente entre os valores fenotípicos e os genotípicos observados, de forma que as diferenças obtidas entre os diferentes genótipos traduzem seus diferentes valores genotípicos. Os resultados obtidos nesse experimento corroboram com os encontrados por Zambiazzi et al. (2017) avaliando as estimativas de parâmetros genéticos de caracteres que conferem alta qualidade de sementes em soja.

No ambiente Mauá da Serra, todas as estimativas de herdabilidade foram superiores a 0,57 e em Campo Mourão, 0,44. Os menores valores foram referentes ao comprimento de falhas na parcela útil, pela menor precisão experimental que este apresentou em ambos os ambientes. A produtividade de grãos apresentou  $\hat{h}^2$  de 0,91 e 0,83 para Mauá da Serra e Campo Mourão, respectivamente. Teixeira et al. (2017) em um trabalho de seleção de linhagens de soja via índices de seleção, observaram valor de  $\hat{h}^2$  de 0,83, muito próximos aos observados em Campo Mourão. Para os caracteres correspondentes a cobertura de dossel, com exceção do CV9-R1 em Campo Mourão, todas as estimativas apresentaram magnitudes de moderadas a alta (0,65 a 0,92

e 0,44 a 0,87). Inúmeros fatores podem afetar a estimativa da  $\hat{h}^2$  de um caractere, dentre eles pode-se citar a expressão de genes com efeitos aditivos e de dominância, efeitos epistáticos, efeitos da interação G x A e a unidade experimental (BORÉM; MIRANDA, 2017).

A acurácia seletiva (AS), definida por Resende e Duarte (2007) como uma medida de avaliação da qualidade dos experimentos, é função da proporção da variância residual média e da variância genotípica, sendo que a variância residual média é dependente do número de repetições. Esses mesmos autores classificam os valores de AS maiores que 0,70 como sendo altos e aquelas maiores que 0,90 como sendo muito altos. Para os caracteres de sementes, com exceção de MS3 e MSA, todos os valores foram considerados muito altos (>0,90). Em Mauá da Serra, todos os caracteres mensurados no campo apresentaram altas estimativas de AS (>0,70), enquanto que em Campo Mourão, os caracteres CV9-R1 e FAL foram de magnitude moderadas, os demais, também apresentaram estimativas de acurácia superiores a 0,70. Maiores valores de AS resultam em maiores valores da razão entre  $CV_g/CV_e$ , refletindo facilidade na seleção pelas maiores proporções devido a variância genotípica (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Especialmente para a produtividade de grãos, pela alta influência ambiental que esta apresenta, quando são considerados mais ambientes para avaliação, seus coeficientes de determinação genotípicos tendem a ser menores e suas estimativas tendem a ter menor precisão. Dessa maneira, identificar caracteres auxiliares para a sua predição se torna uma estratégia importante.

**Tabela 7** Estimativas dos parâmetros genéticos com base em média de genótipos para a primeira contagem de germinação (PC, %), germinação final (GF, %), comprimento total de plântulas aos 3 dias (CT3, cm), massa seca total de plântulas aos 3 dias (MS3, mg), emergência em areia (EMA, %), índice de velocidade de emergência (IVE) e massa seca total de plântulas em areia (MSA, g). Estimativas dos parâmetros genéticos com base em média de genótipos para produtividade de grãos (PRO, kg.ha<sup>-1</sup>), cobertura do dossel vegetativo em V3/V4 (CV3-V4, %), cobertura do dossel vegetativo em V5/V6 (CV5-V6, %), cobertura do dossel vegetativo em V7/V8 (CV7-V8, %), cobertura do dossel vegetativo em V9/R1 (CV9-R1, %) e comprimento de falhas na parcela útil (FAL, m lineares) para os dois ambientes individuais e análise conjunta.

Caractere	Sementes			
	<sup>1</sup> $\hat{\sigma}^2_g$	<sup>2</sup> $\hat{h}^2$	<sup>3</sup> AS	<sup>4</sup> CVg/CVe
PC	0,01*	0,91	0,95	1,62
GF	0,01*	0,92	0,96	1,66
CT3	2,37*	0,84	0,92	1,16
MS3	0,001*	0,74	0,86	0,84
EMA	0,07*	0,87	0,93	1,32
IVE	0,70*	0,86	0,93	1,26
MSA	0,17*	0,77	0,88	0,91

Caractere	Mauá da Serra				Campo Mourão			
	$\hat{\sigma}^2_g$	$\hat{h}^2$	AS	CVg/CVe	$\hat{\sigma}^2_g$	$\hat{h}^2$	AS	CVg/CVe
PRO	122908,05*	0,91	0,95	1,58	95679,37*	0,83	0,91	1,10
CV3-V4	9,49*	0,79	0,89	0,98	16,67*	0,62	0,79	0,64
CV5-V6	6,24*	0,65	0,81	0,68	31,11*	0,77	0,88	0,92
CV7-V8	51,92*	0,92	0,96	1,69	23,77*	0,87	0,93	1,31
CV9-R1	9,43*	0,70	0,84	0,77	1,39*	0,44	0,66	0,44
FAL	0,02*	0,57	0,75	0,58	0,02*	0,47	0,69	0,47

Caractere	Conjunta					
	$\hat{\sigma}^2_g$	<sup>5</sup> $\hat{\sigma}^2_{ga}$	<sup>6</sup> %IC	$\hat{h}^2$	AS	CVg/CVe
PRO	82919,49*	26374,22*	73,57	0,91	0,95	1,14
CV3-V4	1,80*	11,28*	117,39	0,36	0,60	0,27
CV5-V6	15,63*	3,04*	34,37	0,83	0,91	0,79
CV7-V8	30,26*	7,58*	55,98	0,94	0,97	1,37
CV9-R1	3,28*	2,13*	68,07	0,69	0,83	0,53
FAL	0,02*	0,00 <sup>ns</sup>	-	0,69	0,83	0,53

<sup>1</sup>Estimativa do componente de variância genotípico; <sup>2</sup>Estimativa da herdabilidade a nível de médias dos genótipos; <sup>3</sup>Acurácia seletiva; <sup>4</sup>Razão CV genético e CV experimental; <sup>5</sup>Estimativa do componente de variância da interação genótipo x ambiente; <sup>6</sup>Percentual complexo da interação genótipo x ambiente segundo Cruz e Castoldi (1991); \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F (p=0,05); <sup>ns</sup>Não significativo.

### 4.3 Diversidade genética

Os agrupamentos dos genótipos na análise de diversidade genética, para ambos os ambientes, Mauá da Serra e Campo Mourão, estão representados nos dendogramas (Figura 2 e Figura 3). Foi verificada presença de variabilidade para os caracteres considerados entre os genótipos avaliados, o que é interessante, visto que, alto grau de parentesco ou base genética estreita é comumente encontrado em genótipos elites de soja, principalmente nas fases finais de avaliação dos programas de melhoramento (WYSMIERSKI; VELLO, 2013).

No ambiente Mauá da Serra, o dendograma baseado no método de agrupamento UPGMA a partir das médias dos caracteres PRO, CV5-V6, CV7-V8, CV9-R1, GF, EMA e MSA separou os genótipos em 9 diferentes grupos. O maior grupo, com 72 genótipos, foi o grupo III, seguido pelo grupo I, com 8 genótipos. O grupo 2 foi constituído por 2 genótipos, o grupo IV, V e VII por 3 genótipos, o grupo VI por 4 genótipos e por fim, com somente um genótipo cada, os grupos VIII e IX (Figura 2).

Já em Campo Mourão, os genótipos foram separados em 5 grupos, sendo o maior, o grupo I, com 87 genótipos, seguido pelo grupo II com 4 genótipos, grupo III com 3 genótipos, grupo IV com somente 1 genótipo e por fim, grupo V com 2 genótipos (Figura 3). Nota-se que, para ambos os ambientes, a linhagem L-32, não foi agrupada com nenhum outro genótipo, demonstrando apresentar alta divergência com as demais. No entanto, observa-se que sua qualidade fisiológica de sementes é bastante inferior quando comparada as demais. Nesse sentido, esses atributos a classificaram como muito divergente, demonstrando a importância da avaliação da qualidade de sementes em estudos de competição de cultivares. O mesmo padrão de agrupamento entre as cultivares TMG 7061 IPRO, TMG 7062 IPRO e BMX Zeus IPRO foi observado nos dois ambientes, assim como, as linhagens L-06, L-37 e L-58, indicando que embora a interação G x A foi significativa, o seu comportamento se mostrou similar.

A concentração de um grande número de genótipos no primeiro grupo é explicada principalmente pela ocorrência de genótipos com alta dissimilaridade em relação aos demais, o que provoca aumento do critério de agrupamento fazendo com que genótipos mais similares sejam agrupados no grupo maior. Os estudos de diversidade genética além de informar a respeito da variabilidade presente no material em avaliação permitem identificar genótipos ou grupos de genótipos divergentes para a composição de cruzamentos e o desenvolvimento de populações segregantes que maximizem os ganhos com a seleção (FERREIRA JÚNIOR et al., 2015). Em plantas autógamas, como a soja, é de suma importância que os genitores possuam presença de alelos favoráveis e que estes sejam divergentes, para provocar o fenômeno

denominado complementariedade. Nesse sentido, se o objetivo for reunir uma série de características que envolvam qualidade de sementes, maior cobertura de dossel e produtividade de grãos, recomenda-se o cruzamento de genótipos que estejam em diferentes grupos, de acordo com os dendogramas.

No ambiente Mauá da Serra, as menores distâncias genéticas entre os genótipos foram: 0,53, 0,63, 0,99, 1,05 e 1,19, correspondente as linhagens L-46 e L-51, L-13 e L-48, L-01 e L-46, L-51 e L-55 e L-43 e L-48, respectivamente. Portanto, essas linhagens apresentam as maiores similaridades genéticas entre todos os genótipos avaliados. Por outro lado, as maiores distâncias genéticas foram observadas entre as linhagens L-32 e L-53, L-32 e L-74, L-32 e L-49, L-32 e L-39 e L-07 e L-32, com valores de 209,55, 195,28, 194,77, 192,66 e 191,84, respectivamente. Para o outro ambiente, Campo Mourão, a linhagem L-32 também apresentou a maior dissimilaridade em relação à média dos caracteres considerados quando comparada as demais. As maiores distâncias observadas foram: 223,05 (L-32 e L-49), 214,66 (L-32 e L-67), 214,44 (L-32 e L-53), 209,79 (L-32 e TMG 7067 IPRO) e 209,31 (L-01 e L-32). As linhagens mais similares em Campo Mourão foram L-09 e L-46, L-47 e L-57, L-02 e L-50, L-21 e L-80 e L-34 e L-61 apresentando distâncias de 0,41, 0,45, 0,46, 0,57 e 0,59, respectivamente.

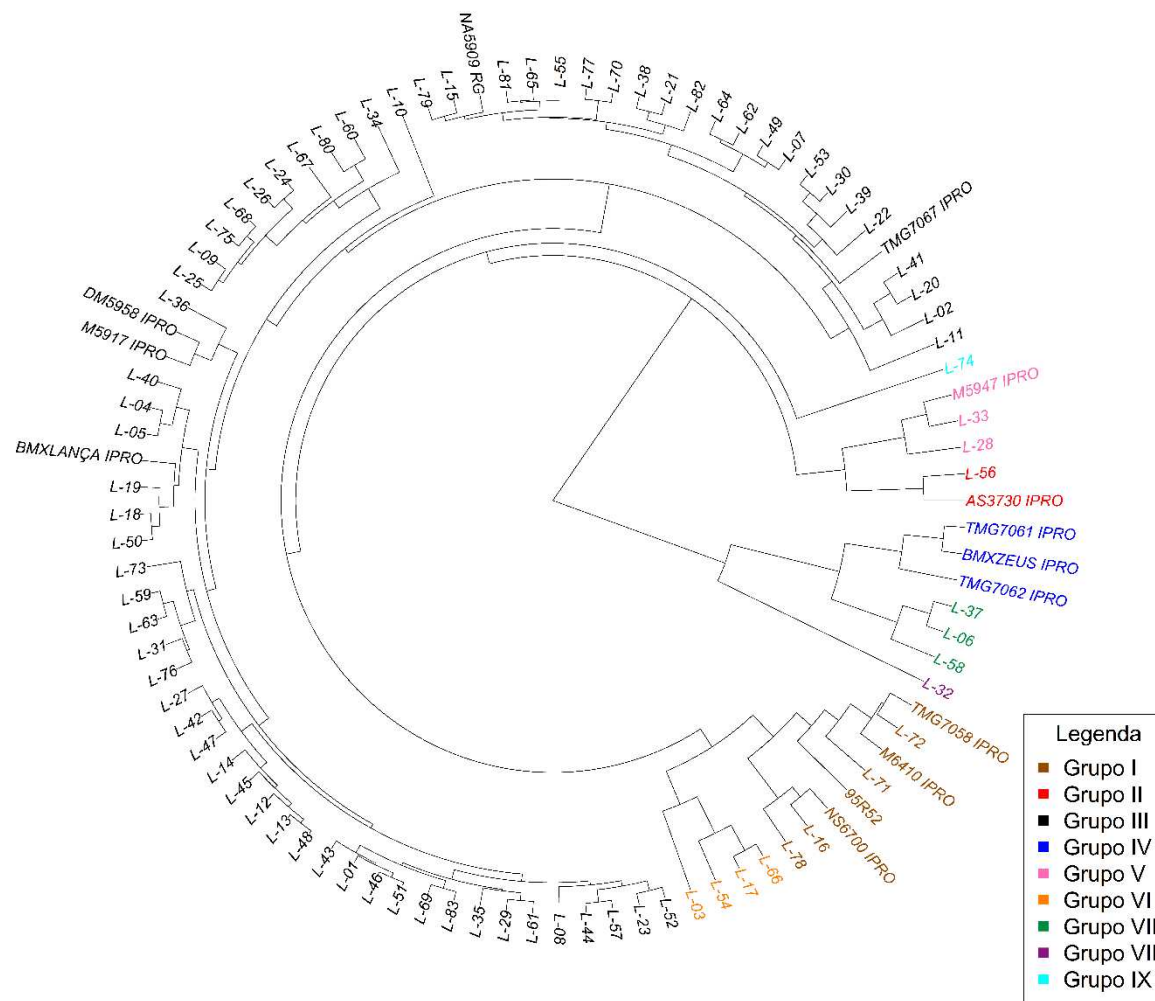
De acordo com o critério de Singh et al. (1981), que avalia a importância relativa dos caracteres na diversidade genética, das características consideradas na avaliação da diversidade dos genótipos de soja, o caractere CV7-V8 apresentou a maior contribuição (24,25%), seguido por GF (23,80%), PRO (20,93%), EMA (15,18%), MSA (6,27%), CV9-R1 (6,11%) e por último CV3-V4 com 3,46% no ambiente Mauá da Serra. Esses valores refletem a importância dessas características na diversidade dos genótipos, indicando que existe grande variabilidade para cobertura de dossel no estádio V7-V8, e também para a germinação de sementes. Como os genótipos foram produzidos e beneficiados sob mesmas condições edafoclimáticas e tecnológicas, é possível concluir que grande parte das diferenças quanto a germinação é de natureza genética. Já foi relatado na literatura que além dos fatores ambientais, existem genótipos que possuem maior desempenho de germinação comparado a outros, por apresentarem diferente constituição química e estrutural (MENEZES et al., 2009).

No ambiente Campo Mourão, o caractere mais importante para a diversidade foi GF (32,30%), e os caracteres EMA, CV7-V8, PRO, MSA, CV5-V6 e CV9-R1 apresentaram importância relativa de 17,90%, 17,41%, 14,96%, 7,91%, 6,67% e 2,85%, respectivamente. Para ambos os ambientes, os caracteres com maior peso na dissimilaridade genética foram GF, CV7-V8, PRO e EMA. Além das características de produtividade e cobertura de dossel, a

diversidade genética entre os genótipos para os caracteres relativos a qualidade de sementes corroboram com outros trabalhos encontrados na literatura (SANTOS et al., 2012; ROSA et al., 2017), confirmando a variabilidade existente entre caracteres de germinação e vigor de sementes.

A consistência do padrão de agrupamento foi avaliada por meio da correlação cofenética, sendo que valores próximos a unidade indicam maior consistência dos dendogramas (BARROSO; ARTES, 2003; CRUZ; CARNEIRO, 2003). As correlações cofenéticas para a análise de diversidade em Mauá da Serra e Campo Mourão foram de 0,76 e 0,87, respectivamente. Esses valores indicam consistência moderada a alta do agrupamento, e a presença de pequenas distorções (SOKAL; ROHLF, 1962).

O teste de Mantel entre as matrizes de Mahalanobis (CRUZ et al., 2011) para os dois ambientes foi significativo ( $p < 0,05$ ) e de correlação igual a 0,89. Para os caracteres mensurados no campo, houve a presença de interação G x A predominantemente do tipo complexa (Tabela 6 e Tabela 7). No entanto, na análise de diversidade genética, foram considerados além destes, caracteres da qualidade fisiológica de sementes, que são os mesmos para os dois ambientes (GF, EMA e MSA), o que explica a alta correlação.



**Figura 2** Dendrograma representativo da diversidade genética entre 97 genótipos de soja pelo método UPGMA para caracteres de qualidade de sementes, cobertura de dossel e produtividade de grãos em Mauá da Serra, Paraná, Brasil.



#### 4.4 Correlações entre caracteres

Os valores encontrados na Tabela 8 acima da diagonal representam as estimativas de correlações genotípicas entre os caracteres no ambiente Mauá da Serra e abaixo da diagonal as estimativas de correlações genotípicas entre os caracteres no ambiente Campo Mourão, enquanto que na diagonal são as estimativas de correlações de Spearman entre as médias dos dois ambientes. O grau de associação linear entre os ambientes foi estimado por meio das correlações de Spearman (Tabela 8), que foram significativas ( $p < 0,05$ ) e de magnitude baixa a intermediária, exceto para o caractere CV9-R1 ( $0,11^{ns}$ ), indicando comportamento diferencial dos genótipos nos dois ambientes avaliados. Os genótipos avaliados nesse estudo apresentam hábito de crescimento indeterminado, ocorrendo sobreposição entre o período de crescimento vegetativo e reprodutivo (ZANON et al., 2015; ZANON et al., 2016). No entanto, a cobertura do dossel como outros parâmetros importantes de crescimento, como altura da planta, número de nós produtivos e matéria seca no florescimento são influenciados pelas condições ambientais, principalmente temperatura e fotoperíodo (SETIYONO et al., 2007; SINCLAIR et al., 2005). Essas informações indicam que, em função das diferenças climatológicas entre os ambientes, provavelmente devidas a maior altitude Mauá da Serra (1083 metros) que resulta em menores temperaturas, ocorre comportamento diferencial dos genótipos quanto a seus atributos morfológicos, especialmente no florescimento.

O grau de associação entre os caracteres foi estimado por meio das correlações de Pearson (Tabela 8). Em Mauá da Serra, as correlações genotípicas da PRO com os demais caracteres foram todas não significativas ( $p > 0,05$ ), exceto para CV7-V8 ( $0,27^*$ ). De acordo com Nogueira et al. (2012) três aspectos devem ser considerados na interpretação de correlações: a magnitude, a direção e a significância. Estimativas de correlações que envolvem grandes tamanhos de amostras, tornam baixos valores significativos, em função deste parâmetro ser considerado na avaliação da significância da correlação. Valores de correlação superiores a 0,70 representam altas estimativas de associação linear, pois aproximadamente metade da variação dos dados é explicada pelos efeitos dos caracteres, em virtude de  $0,70^2$  equivaler a 0,49.

Sheeren et al. (2010) observaram maior produtividade de grãos em cultivares com alto vigor de sementes. No entanto, em Mauá da Serra, ambiente com maior altitude, nenhum caractere apresentou associação linear com PRO. Já os caracteres EMA, IVE e MSA correlacionaram-se positivamente com CV3-V4, com correlações de 0,80, 0,78 e 0,73, respectivamente. Esses resultados indicam que, quanto maior o vigor das plântulas em areia, maior a cobertura da área de solo nas primeiras fases de desenvolvimento da cultura da soja.

Esses resultados corroboram com outros estudos, no sentido de que o vigor de sementes afeta o estabelecimento inicial da cultura e, conseqüentemente, a cobertura de dossel vegetativo (CANTARELLI et al., 2015a; CANTARELLI et al., 2015b). Para CV5-V6, houve associação linear positiva com PC, GF, EMA e IVE, de 0,69, 0,68, 0,73 e 0,69, respectivamente. A cobertura de dossel nos estádios mais avançados ao longo do ciclo de desenvolvimento, CV7-V8 e CV9-R1, apresentou correlações moderadas com os caracteres de vigor de sementes, indicando que pode ter ocorrido compensação pela plasticidade fenotípica intrínseca da soja (BALBINOT JÚNIOR et al., 2018).

Apesar da FAL não apresentar associação linear com a PRO, suas correlações com CV3-V4, CV5-V6 e CV7-V8, foram de alta magnitude e negativas (-0,95, -0,99 e -0,91). Além disso, maiores valores de FAL são condicionados por menor qualidade de sementes. Isso pode ser comprovado por meio das altas correlações negativas de FAL com PC, GF, CT3, EMA, IVE e MSA, de magnitude variando de -0,79 (FAL e MSA) a -1,00 (FAL e EMA).

Diferentemente do observado em Mauá da Serra, no ambiente Campo Mourão, CV9-R1 apresentou correlação genotípica com PRO de 0,76, indicando que, neste ambiente, maior cobertura do dossel no pré-florescimento e florescimento proporcionam maior PRO. Esse resultado corrobora com o encontrado por Xavier et al. (2017), que avaliando um painel com 5555 linhagens de soja, observaram correlação genética de 0,87 entre cobertura de dossel e produtividade. Nesse sentido, se comprovada a sua relação direta com novos experimentos, em maior número de locais e com maior diversidade de condições meteorológicas, solo e manejo, a cobertura de dossel pode ser usada como critério para seleção indireta, especialmente na triagem inicial de um programa de melhoramento, quando são consideradas muitas populações.

Hall (2015) em um estudo de caracterização quantitativa da cobertura de dossel em uma população altamente diversificada do Soybean Nested Association Mapping Dataset (SoyNam) observou uma correlação fenotípica entre produtividade de grãos e cobertura de dossel de 0,36 (aos 20 dias após a semeadura - DAS), 0,32 (27 DAS), 0,26 (34 DAS), 0,24 (40 DAS), 0,23 (48 DAS) e 0,23 (56 DAS) para o experimento conduzido em 2014. No entanto, quando a produtividade de grãos foi correlacionada com a radiação fotossinteticamente ativa acumulada, sua correlação passou a ser 0,67 e 0,61, para o período vegetativo e reprodutivo, respectivamente. No entanto, esse mesmo autor usando uma análise de regressão observou um coeficiente de determinação de 100% para maior cobertura de dossel e radiação fotossinteticamente ativa acumulada, concluindo que maior área de dossel aumenta a radiação fotossinteticamente ativa acumulada.

As correlações genotípicas têm basicamente duas causas: pleiotropia, considerada como causa permanente de correlação; e a ligação fatorial, que é uma causa transitória (CRUZ et al., 2012). Na identificação de caracteres para seleção indireta para produtividade em um programa de melhoramento, é interessante que a pleiotropia seja a principal causa da correlação. Em soja, especialmente nas fases iniciais de um programa de melhoramento, um alto número de parcelas é submetido a avaliação. A identificação de caracteres auxiliares, principalmente relacionados com a produtividade de grãos, que visem a redução de custos e que aumentem a eficiência dos processos seletivos, podem ser de grande utilidade. Por outro lado, muitas variáveis já identificadas na literatura, que apresentam altas correlações com a produtividade de grãos em soja, são mais onerosas ou demandam maior trabalho para serem mensuradas, como por exemplo o teor de clorofila e caracteres fenológicos (TODESCHINI et al., 2019), atributos fisiológicos fotossintéticos (KOESTER et al., 2016), componentes da produtividade (MACHADO et al., 2017) e altura da planta (ZHANG et al., 2015).

Também foram observadas associações lineares de magnitude intermediária entre PRO e CV5-V6 (0,51) e CV7-V8 (0,57). A CV3-V4, correlacionou-se negativamente com PRO e com os outros caracteres considerados. É importante ressaltar que as estimativas de cobertura de dossel foram realizadas com o uso de imagens RGB, as quais possuem algumas limitações (LEBOURGEOIS et al., 2008). Uma possível explicação para essas correlações negativas é a falta de luminosidade adequada durante a tomada das imagens, devido a condições ambientais adversas.

Semelhante ao ambiente Mauá da Serra, a qualidade fisiológica de sementes, por meio dos caracteres, PC, GF, EMA e IVE, correlacionou-se positivamente com CV5-V6 e CV7-V8 para o ambiente Campo Mourão. Por isso, é imprescindível, em ensaios de competição de linhagens, que estas apresentem qualidade fisiológica de sementes dentro da mesma faixa, para que, dependendo do caractere em seleção, não haja efeito de confundimento. No entanto, além dos fatores ambientais envolvidos na qualidade fisiológica e vigor de sementes, existem os fatores genéticos (LIMA et al., 2017; MENEZES et al., 2009). O caractere FAL apresentou associação linear negativa de alta magnitude com CV5-V6 (-0,87), CV7-V8 (-0,84), PC (-0,68), GF (-0,67), CT3 (-0,66), EMA (-0,79), IVE (-0,94) e MSA (-0,68). Novamente, confirmando os resultados obtidos para o outro ambiente, foi observada grande influência da qualidade de sementes sobre as falhas nas parcelas, e dessas sobre a cobertura de dossel.

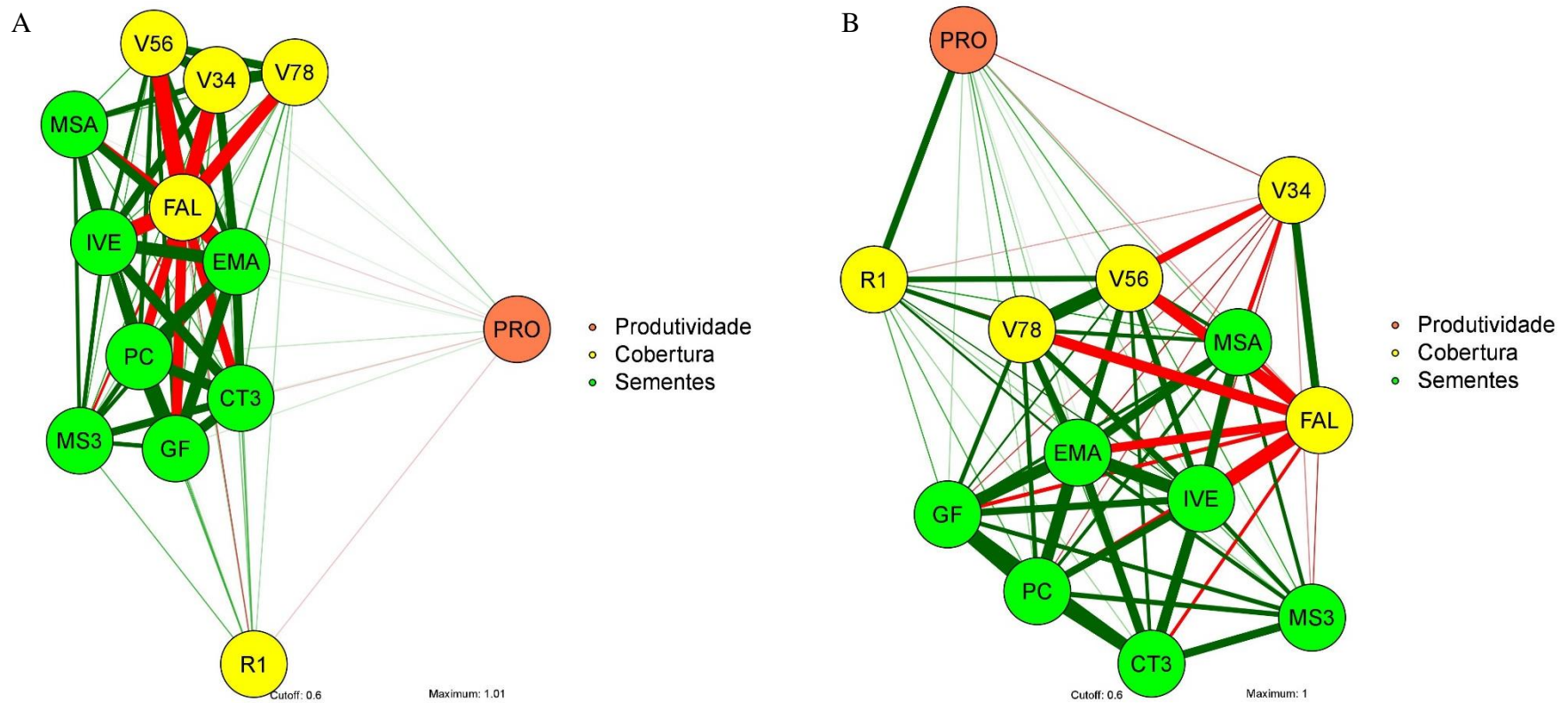
Em função da complexidade na identificação das correlações quando se considera alto número de caracteres, uma estratégia eficaz é a análise gráfica da rede de correlações (Figura

4). Somente as associações lineares maiores que 0,60 foram destacadas e de acordo com a magnitude, a intensidade da linha foi maior. Observando as redes de correlações para cada ambiente, foi possível identificar grupos de caracteres que apresentam alto grau de associação linear. Por exemplo, foi possível observar associações positivas entre os caracteres da qualidade fisiológica de sementes, para ambos os ambientes e todas as inter-relações já descritas a respeito da Tabela 8. Além disso, as correlações negativas entre o comprimento de falhas com os caracteres da qualidade de sementes e de cobertura de dossel se tornam altamente ilustrativas com a análise visual da rede de correlações. Observa-se que a correlação de 0,76 entre CV9-R1 e PRO é representada no ambiente Campo Mourão (Figura 4B).

**Tabela 8** Estimativas de correlações entre ambientes e correlações genótípicas entre as médias de produtividade de grãos (PRO, kg.ha<sup>-1</sup>), cobertura do dossel vegetativo em V3/V4 (CV3-V4, %), cobertura do dossel vegetativo em V5/V6 (CV5-V6, %), cobertura do dossel vegetativo em V7/V8 (CV7-V8, %), cobertura do dossel vegetativo em V9/R1 (CV9-R1, %), comprimento de falhas na parcela útil (FAL, m lineares), primeira contagem de germinação (PC, %), germinação final (GF, %), comprimento total de plântulas aos 3 dias (CT3, cm), massa seca total de plântulas aos 3 dias (MS3, mg), emergência em areia (EMA, %), índice de velocidade de emergência (IVE) e massa seca total de plântulas em areia (MSA, g) avaliados em 97 genótipos de soja em dois ambientes no Estado do Paraná, Brasil na safra de 2018/2019. Acima da diagonal – estimativas de correlações genótípicas entre os caracteres no ambiente Mauá da Serra; Abaixo da diagonal – estimativas de correlações genótípicas entre os caracteres no ambiente Campo Mourão; Diagonal – estimativas de correlações de Spearman entre as médias dos dois ambientes.

Caractere	PRO	CV3-V4	CV5-V6	CV7-V8	CV9-R1	FAL	PC	GF	CT3	MS3	EMA	IVE	MSA
PRO	0,49*	0,02 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,27*	-0,14 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
CV3-V4	-0,48*	-0,45*	0,85*	0,85*	0,33*	-0,95*	0,58*	0,59*	0,60*	0,55*	0,80*	0,78*	0,73*
CV5-V6	0,51*	-0,70*	0,60*	0,78*	0,27*	-0,99*	0,69*	0,68*	0,58*	0,47*	0,73*	0,69*	0,54*
CV7-V8	0,57*	-0,71*	0,91*	0,54*	0,21*	-0,91*	0,44*	0,43*	0,43*	0,30*	0,57*	0,53*	0,49*
CV9-R1	0,76*	-0,22*	0,71*	0,68*	0,11 <sup>ns</sup>	-0,44*	0,46*	0,48*	0,45*	0,43*	0,31*	0,27*	-0,02 <sup>ns</sup>
FAL	-0,24*	0,78*	-0,87*	-0,84*	-0,46*	0,45*	-0,82*	-0,84*	-0,83*	-0,63*	-1,00*	-0,98*	-0,79*
PC	0,24*	-0,47*	0,61*	0,68*	0,50*	-0,68*	/	0,99*	0,85*	0,70*	0,88*	0,76*	0,65*
GF	0,22*	-0,45*	0,62*	0,68*	0,51*	-0,67*	0,99*	/	0,84*	0,68*	0,88*	0,75*	0,66*
CT3	0,09 <sup>ns</sup>	-0,32*	0,66*	0,57*	0,24*	-0,66*	0,85*	0,84*	/	0,78*	0,80*	0,84*	0,55*
MS3	0,05 <sup>ns</sup>	-0,28*	0,57*	0,49*	0,32*	-0,49*	0,70*	0,68*	0,78*	/	0,67*	0,68*	0,66*
EMA	0,28*	-0,57*	0,76*	0,77*	0,63*	-0,79*	0,88*	0,88*	0,80*	0,67*	/	0,90*	0,80*
IVE	0,25*	-0,51*	0,75*	0,74*	0,60*	-0,94*	0,76*	0,75*	0,84*	0,68*	0,90*	/	0,82*
MSA	0,39*	-0,68*	0,66*	0,67*	0,60*	-0,68*	0,65*	0,66*	0,55*	0,66*	0,80*	0,82*	/

\*Significativo a 5% e <sup>ns</sup>Não significativo, pelo método de *bootstrap* com 10 mil simulações.



**Figura 4** Rede de correlações entre os caracteres de qualidade de sementes, cobertura de dossel e produtividade de grãos para os ambientes Mauá da Serra (A) e Campo Mourão (B).

#### 4.5 Análise de Trilha

A escolha dos caracteres que compuseram a análise de trilha levou em conta o diagnóstico de multicolinearidade realizado de maneira que, para ambos os ambientes, as matrizes de correlação genotípica não apresentassem esse inconveniente. A decomposição do coeficiente de correlação genotípico em efeitos diretos e indiretos sobre o caractere principal PRO foi obtida para os caracteres CV5-V6, CV7-V8, CV9-R1, GF, EMA e MSA (Tabela 9).

No ambiente Mauá da Serra constata-se alto efeito direto de CV7-V8 em PRO (0,77), porém o coeficiente de determinação deste ambiente foi muito baixo, de 0,27. Portanto, a interpretação dos efeitos diretos e indiretos para esse ambiente não deve ser considerada, em função de existirem outras variáveis importantes que explicam melhor o caractere PRO e não foram consideradas neste modelo. Esse fato pode ser evidenciado pelo alto efeito residual constatado, de 0,86. As baixas correlações com produtividade em Mauá da Serra, sugerem que existem outras variáveis exercendo efeito e que não foram consideradas no presente estudo.

Streck et al. (2008) e Setiyono et al. (2007) afirmam que a temperatura e o déficit hídrico exercem grande influência sobre o comportamento e taxa de aparecimento de folhas em soja. Nesse sentido, o ambiente Mauá da Serra, que apresenta elevada altitude e que no período do experimento apresentou precipitação média observada inferior se comparada aos demais anos agrícolas, apresenta menor cobertura de dossel nos 4 estádios avaliados quando comparado ao outro ambiente. Por isso, é importante ressaltar que em experimentos considerando ambientes de altitude maior, o número de imagens ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura deve ser superior a 4, com o intuito de abranger períodos posteriores ao observado no florescimento, em função da menor temperatura afetar a taxa de crescimento e desenvolvimento da cultura da soja. Pode-se afirmar que, neste ambiente, as cultivares mais produtivas apresentaram comportamento de cobertura de dossel menos desenvolvido, em função das condições ambientais.

Já para o outro ambiente, Campo Mourão, o coeficiente de determinação foi de 0,75, indicando que, o modelo das variáveis explicativas consideradas é consideravelmente suficiente para explicar a maior parte da variação encontrada no caractere PRO. O coeficiente de correlação de 0,76 da CV9-R1 com PRO, quando decomposto, apresentou alto efeito direto (0,84), confirmando que o caractere CV9-R1 apresenta grande influência sobre PRO, pois além de apresentar alta correlação, seu efeito livre dos demais caracteres também é bastante alto. Outro aspecto importante a considerar diz respeito ao caractere CV7-V8 que apresentou um coeficiente de correlação linear de 0,57 e um efeito direto de 0,69, com considerável efeito

indireto via CV9-R1 (0,57). O caractere CV5-V6, embora apresente uma correlação moderada de 0,51, quando se analisa seus efeitos indiretos, a sua magnitude é maior, via CV7-V8 (0,63) e CV9-R1 (0,60). Portanto, existe um forte indicativo que os caracteres CV7-V8 e CV9-R1 podem ser usados na seleção indireta de linhagens de soja mais produtivas, em Campo Mourão.

O caractere PRO tem sido usado como variável principal em estudos de análise de trilha de soja em função de inúmeros outros caracteres explicativos (ALMEIDA et al., 2010; FOLLMAN et al., 2017; NOGUEIRA et al., 2012; TEODORO et al., 2015). No entanto, esses autores identificaram como caracteres úteis na seleção indireta para PRO florescimento tardio e altura de inserção da primeira vagem, altura de planta, número de vagens e número de nós por planta, número de vagens e número de ramificações, respectivamente. Nota-se que, todos esses caracteres já relatados na literatura são de medição mais onerosa que PRO, inviabilizando a seleção indireta. Diante disso, considerando a importância da identificação de caracteres que auxiliem e otimizem as etapas de seleção em um programa de melhoramento, os coeficientes de correlação e os efeitos diretos encontrados em Campo Mourão da tomada de imagens nos estádios V7-V8 e V9-R1 podem ser de grande utilidade e carecem serem melhor investigados. A importância de se utilizar a fenômica ou a fenotipagem de alto rendimento se torna ainda mais pronunciante quando considera-se um alto número de linhagens, como nas etapas iniciais de um programa de melhoramento de soja.

**Tabela 9** Análise de trilha com base nas estimativas de correlação genotípica para o caractere principal produtividade de grãos (PRO, kg.ha<sup>-1</sup>) e os caracteres explicativos cobertura do dossel vegetativo em V5/V6 (CV5-V6, %), cobertura do dossel vegetativo em V7/V8 (CV7-V8, %), cobertura do dossel vegetativo em V9/R1 (CV9-R1, %), germinação final (GF, %), massa seca total de plântulas aos 3 dias (MS3, mg), emergência em areia (EMA, %) e massa seca total de plântulas em areia (MSA, g) avaliados em 97 genótipos de soja nas cidades de Mauá da Serra (MS) e Campo Mourão (CM), Paraná, Brasil na safra 2018/2019.

Caractere	Efeitos	MS	CM	Caractere	Efeitos	MS	CM	
CV5/V6	Direto Sobre PRO	-0,61	-0,32	GF	Direto Sobre PRO	0,81	0,02	
	Indireto via CV7/V8	0,60	0,63		Indireto via CV5/V6	-0,41	-0,20	
	Indireto via CV9/R1	-0,13	0,60		Indireto via CV7/V8	0,33	0,47	
	Indireto via GF	0,55	0,01		Indireto via CV9/R1	-0,23	0,43	
	Indireto via EMA	-0,08	-0,53		Indireto via EMA	-0,10	-0,62	
	Indireto via MSA	-0,23	0,12		Indireto via MSA	-0,28	0,12	
	<b>Total</b>	<b>0,10</b>	<b>0,51</b>		<b>Total</b>	<b>0,12</b>	<b>0,22</b>	
CV7/V8	Direto Sobre PRO	0,77	0,69	EMA	Direto Sobre PRO	-0,11	-0,70	
	Indireto via CV5/V6	-0,48	-0,29		Indireto via CV5/V6	-0,44	-0,24	
	Indireto via CV9/R1	-0,10	0,57		Indireto via CV7/V8	0,44	0,54	
	Indireto via GF	0,35	0,01		Indireto via CV9/R1	-0,15	0,53	
	Indireto via EMA	-0,06	-0,54		Indireto via GF	0,71	0,02	
	Indireto via MSA	-0,20	0,12		Indireto via MSA	-0,34	0,14	
	<b>Total</b>	<b>0,27</b>	<b>0,57</b>		<b>Total</b>	<b>0,11</b>	<b>0,29</b>	
CV9/R1	Direto Sobre PRO	-0,49	0,84	MSA	Direto Sobre PRO	-0,42	0,18	
	Indireto via CV5/V6	-0,16	-0,23		Indireto via CV5/V6	-0,33	-0,21	
	Indireto via CV7/V8	0,16	0,47		Indireto via CV7/V8	0,37	0,47	
	Indireto via GF	0,39	0,01		Indireto via CV9/R1	0,01	0,50	
	Indireto via EMA	-0,03	-0,44		Indireto via GF	0,53	0,01	
	Indireto via MSA	0,01	0,11		Indireto via EMA	-0,09	-0,56	
	<b>Total</b>	<b>-0,14</b>	<b>0,76</b>		<b>Total</b>	<b>0,07</b>	<b>0,39</b>	
						MS	CM	
						Coefficiente de determinação (%)	0,27	0,75
						Efeito da variável residual	0,86	0,50

## 5 CONCLUSÕES

Os genótipos de soja apresentaram variabilidade genética para todos os caracteres de qualidade fisiológica de sementes avaliados.

Foi observada interação genótipo x ambiente de alta magnitude para cobertura de dossel nos diferentes estádios fenológicos avaliados e para produtividade de grãos.

De acordo com a análise de diversidade genética, constatou-se a formação de grupos diversos entre os genótipos considerados para os dois ambientes, Mauá da Serra e Campo Mourão.

Houve associação linear negativa de alta magnitude entre os caracteres comprimento de falhas na parcela útil e qualidade fisiológica de sementes e cobertura de dossel, em ambos os ambientes.

Alta qualidade fisiológica de sementes é correlacionada positivamente com maior cobertura de dossel, em ambos os ambientes.

O caractere CV9-R1 apresenta alta correlação positiva e alto efeito direto com PRO. O caractere CV7-V8 apresenta correlação de magnitude intermediária e alto efeito direto com PRO, em Campo Mourão.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. D.; PELUZIO, J. M.; AFFERRI, F. S. Correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais em soja cultivada sob condições várzea irrigada, sul do Tocantins. *Bioscience Journal*, v. 26, n. 1, p. 95-99, 2010.
- ARAUS, J. L.; CAIRNS, J. E. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. *Trends in Plant Science*, v. 9, n. 1, p. 52-61, 2014.
- BACAXIXI, P.; RODRIGUES, L. R.; BRASIL, E. P.; BUENO, C. E. M. S.; RICARDO, H. A.; EPIPHANIO, P. D.; SILVA, D. P.; BARROS, B. M. C.; SILVA, T. F.; BOSQUÊ, G. G. A soja e seu desenvolvimento no melhoramento genético. *Revista científica eletrônica de Agronomia*, v. 10, n. 20, p. 1-5, 2011.
- BAI, G.; GE, Y.; HUSSAIN, W.; BAENZIGER, P. S.; GRAEF, G. A multi-sensor system for high throughput field phenotyping in soybean and wheat breeding. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 128, n. 1, p. 181-192, 2016.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; OLIVEIRA, M. C. N. de; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; WERNER, F. Phenotypic plasticity in a soybean cultivar with indeterminate growth type. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n. 9, p. 1038-1044, 2018.
- BARBIN, D. *Componentes de variância – Teoria e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1998. 120p.
- BARROSO, L. P.; ARTES, R. *Análise multivariada*. Lavras: Editora UFLA, 2003. 151p.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCH NETO, R. *Melhoramento de Plantas*. Viçosa: Editora UFV. 7. ed. 2017. 527p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p.
- BURGOS, N. R.; TRANEL, P. J.; STREIBIG, J. C.; DAVIS, V. M.; SHANER, D.; NORSWORTHY, J. K.; RITZ, C. Review: Confirmation of resistance to herbicides and evaluation of resistance levels. *Weed Science*, v. 61, n. 1, p. 4-20, 2013.
- CAMPILLO, C.; GRACIA, M. I.; DAZA, C.; PRIETO, M. H. Study of a non-destructive method for estimating the leaf area index in vegetable crops using digital images. *Hortscience*, v. 45, n. 10, p. 1459-1463, 2010.
- CANTARELLI, L. D.; SCHUCH, L. O. B.; RUFINO, C. de A.; TAVARES, L. C.; VIEIRA, J. F. Physiological seeds quality: spatial distribution and variability among soybean plant population. *Bioscience Journal*, v. 31, n. 2, p. 344-351, 2015a.
- CANTARELLI, L. D.; SCHUCH, L. O. B.; TAVARES, L. C.; RUFINO, C. de A. Variability of soybean plants originated from seeds with different levels of physiological quality. *Acta Agronômica*, v. 64, n. 3, p. 234-238, 2015b.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 2, p. 111-117, 2009.

CASTAN, D. O. C.; GOMES-JUNIOR, F. G.; MARCOS FILHO, J. Vigor-S, um novo sistema de avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho. *Scientia Agrícola*, v. 75, n. 2, p. 167-172, 2018.

CAVERZAN, A.; GIACOMIN, R.; MÜLLER, M.; BIAZUS, C.; LÂNGARO, N. C.; CHAVARRIA, G. How does seed vigor affect soybean yield components?. *Agronomy Journal*, v. 110, n. 4, p. 1318-1327, 2018.

CRUZ, C. D. Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2003. 579p.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipo x ambientes em partes simples e complexa. *Revista Ceres*, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. *Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. 620p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. v. 1. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.

DALLASTRA, A.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; FERRAUDO, A. S.; DI MAURO, A. O. Multivariate approach in the selection of superior soybean progeny which carry the RR gene. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 3, p. 588-597, 2014.

DATTA, A.; ULLAH, H.; TURSUN, N.; PORNPROM, T.; KNEZEVIC, S. Z.; CHAUHAN, B. S. Managing weeds using crop competition in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Crop Protection*, v. 95, n. 1, p. 60-68, 2017.

DIAS, W. P.; GARCIA, A.; SILVA, J. F. V.; CARNEIRO, G. E. S. *Nematóides da soja: Identificação e controle*. Londrina: EMBRAPA-SOJA, 2010. 8p. (EMBRAPA-SOJA. Circular Técnica, 76).

DIERS, D. B.; SPECHT, J.; RAINEY, K. M.; CREGAN, P.; SONG, Q.; RAMASUBRAMANIAN, V.; GRAEF, G.; NELSON, R.; SCHAPAUGH, W.; WANG, D.; SHANNON, G.; MCHALE, L.; KANTARTZI, S. K.; XAVIER, A.; MIAN, R.; STUPAR, R. M.; MICHNO, J. M.; AN, Y. Q. C.; GOETTEL, W.; WARD, R.; FOX, C.; LIPKA, A. L.; HYTEN, D.; CARY, T.; BEAVIS, W. D. Genetic architecture of soybean yield and agronomic traits. *Genes, Genomes, Genetics*, v. 8, n. 10, p. 3367-3375, 2018.

DUAN, L.; YANG, W.; HUANG, C.; LIU, Q. A novel machine-vision-based facility for the automatic evaluation of yield-related traits in rice. *Plant Methods*, v. 7, n. 44, p. 1-13, 2011.

EDWARDS, J. T.; PURCELL, L. C. Soybean yield and biomass responses to increasing plant population among diverse maturity groups. *Crop Science*, v. 45, n. 5, p. 1770-1777, 2005.

FERREIRA JÚNIOR, J. A.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; ESPÍNDOLA, S. M. C. G.; VIANNA, V. F.; DI MAURO, A. O. Diversidade genética em linhagens avançadas de soja oriundas de cruzamentos biparentais, quádruplos e ócuplos. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 2, p. 339-351, 2015.

FICKETT, N. D.; BOERBOOM, C. M.; STOLTENBERG, D. E. Soybean yield loss potential associated with early-season weed competition across 64 site-years. *Weed Science*, v. 61, n. 3, p. 500-507, 2013.

FINCH-SAVAGE, W. E.; BASSEL, G. W. Seed vigor and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, v. 67, n. 3, p. 567- 591, 2016.

FIORANI, F.; RASCHER, U.; SCHURR, U. Imaging plants dynamics in heterogenic environments. *Current Opinion in Biotechnology*, v. 23, n. 2, p. 227-235, 2012.

FOLLMANN, D. N.; CARGNELUTTI FILHO, A.; SOUZA, V. Q. de; NARDINO, M.; CARVALHO, I. R.; DEMARI, G. H.; FERRARI, M.; PELEGRIN, A. J. de; SZARESKI, V. J. Linear relations among traits in off-season soybean. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 40, n. 1, p. 213-221, 2017.

FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. *Fenômica*. Viçosa: Editora UFV, 2016. 216p.

GASPAR, A. P.; CONLEY, S. P. Responses of canopy reflectance, light interception, and soybean seed yield to replanting suboptimal stands. *Crop Science*, v. 55, n. 1, p. 377-385, 2015.

GIFFORD, R. M.; THORNE, J. H.; HITZ, W. D.; GIAQUINTA, R. T. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science*, v. 225, n. 4664, p. 801-808, 1984.

GIGLIOTI, E. A.; SUMIDA, C. H.; CANTERI, M. G. Fenômica de resistência a doenças. In: FRITSCHÉ NETO, R.; BORÉM, A. (Ed.). *Fenômica*. Viçosa: Editora UFV, 2016. p. 149-178.

GOLZARIAN, M. R.; FRICK, R. A.; RAJENDRAN, K.; BERGER, B.; ROY, S.; TESTER, M.; LUN, D. S. Accurate inference of shoot biomass from high-throughput images of cereal plants. *Plant Methods*, v. 7, n. 2, p. 1-11, 2011.

GOMES, V. H. S.; PELUZIO, J. M.; AFFERRI, F. S.; JUNIOR, W. P. O.; SALES, P. V. G. Teor de óleo e proteína em grãos de soja em diferentes posições da planta. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 10, n. 1, p. 22-29, 2016.

GREEN, J. M.; OWEN, M. D. Herbicide-resistant crops: utilities and limitations for herbicide-resistant weed management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 59, n. 11, p. 5819-5829, 2011.

GUAN, H.; LIU, M.; MA, X.; YU, A. Three-dimensional reconstruction of soybean canopies using multisource imaging for phenotyping analysis. *Remote sensing*, v. 10, n. 8, p. 1-20, 2018.

- HALL, B. P. *Quantitative characterization of canopy coverage in the genetically diverse SoyNAM population*. 2015. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de Purdue, Indiana, EUA, 2015.
- HENNING, F. A.; MERTZ-HENNING, L. M.; JUNIOR, E. A. J.; MACHADO, R. D.; FISS, G.; ZIMMER, P. D. Chemical composition and reserve mobilization in soybean seeds with high and low vigor. *Bragantia*, v. 69, n. 3, p. 727-734, 2010.
- HOWARD, R.; JARQUIN, D. Genomic prediction using canopy coverage image and genotypic information in soybean via hybrid model. *Evolutionary Bioinformatics*, v. 15, p. 1-6, 2019.
- HYMOWITZ, T. Speciation and cytogenetics. In: BOERMA, H. R.; SPECHT, J. E. (Ed.). *Soybeans: improvement, production and uses*. 3. ed. Madison: ASA, 2004. p. 97-136.
- JIN, X.; LIU, S.; BARET, F.; HEMERLÉ, M.; COMAR, A. Estimates of plant density of wheat crops at emergence from very low altitude UAV imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 198, n. 7, p. 105-114, 2017.
- JOLLIFFE, I. T. Discarding variables in a principal component analysis. I: Artificial data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, v. 21, n. 2, p. 160-173, 1972.
- JOLLIFFE, I. T. Discarding variables in a principal component analysis. II: Real data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, v. 22, n. 1, p. 21-31, 1973.
- KALER, S. A.; RAY, J. D.; SCHAPAUGH, W. T.; DAVIES, M. K.; KING, C. A.; PURCELL, L. C. Association mapping identifies loci for canopy coverage in diverse soybean genotypes. *Molecular Breeding*, v. 38, n. 50, p. 1-12, 2018.
- KOESTER, R. P.; NOHL, B. M.; DIERS, B. W.; AINSWORTH, E. A. Has photosynthetic capacity increased with 80 years of soybean breeding? An examination of historical soybean cultivars. *Plant, Cell & Environment*, v. 39, n. 5, p. 1058-1067, 2016.
- KOESTER, R. P.; SKONECZKA, J. A.; CARY, T. R.; DIERS, B. W.; AINSWORTH, E. A. Historical gains in soybean (*Glycine max* Merr.) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. *Journal of Experimental Botany*, v. 65, n. 12, p. 3311-3321, 2014.
- KROSS, A.; MCNAIRN, H.; LAPEN, D.; SUNOHARA, M.; CHAMPAGNE, C. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 34, n. 1, p. 235-248, 2015.
- KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. de B.; HENNING, A. A.; COSTA, N. P. da. *A semente de soja como tecnologia e base para altas produtividades - série sementes*. Londrina: EMBRAPA-SOJA, 2008. 8p. (EMBRAPA-SOJA. Circular Técnica, 55)
- LEBOURGEOIS, V.; BÉGUE, A.; LABBÉ, S.; MALLAVAN, B.; PRÉVOT, L.; ROUX, B. Can commercial digital cameras be used as multispectral sensors? A crop monitoring test. *Sensors*, v. 8, n. 11, p. 7300-7322, 2008.

- LIEBISCH, F.; KIRCHGESSNER, N.; SCHNEIDER, D.; WALTER, A.; HUND, A. Remote, aerial phenotyping of maize traits with a mobile multi-sensor approach. *Plant Methods*, v. 11, n. 9, p. 1-19, 2015.
- LIJUAN, Q.; RUZHEN, C. The origin and history of soybean. In: SINGH, G. *The Soybean: Botany, Production and Uses*. CABI, UK. 2010. p. 1-23.
- LIMA, P. J. J.; BUTINK, J.; LALANNE, D.; ROSSI, R. F.; PELLETIER, S.; SILVA, E. A. A. da; LEPRINCE, O. Molecular characterization of the acquisition of longevity during seed maturation in soybean. *Plos One*, v. 12, n. 7, p. 1-25, 2017.
- LOBOS, G. A.; CAMARGO, A. V.; DEL POZO, A.; ARAUS, J. L.; ORTIZ, R.; DOONAN, J. H. Plant phenotyping and phenomics for plant breeding. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, n. 1, p. 1-3, 2017.
- LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. *Fisiologia da produção*. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2015. p. 117-145.
- MACHADO, B. Q. V.; NOGUEIRA, A. P. O.; HAMAWAKI, O. T.; REZENDE, G. F.; JORGE, G. L.; SILVEIRA, I. C.; MEDEIROS, L. A.; HAMAWAKI, R. L.; HAMAWAKI, C. D. L. Phenotypic and genotypic correlations between soybean agronomic traits and path analysis. *Genetics and Molecular Research*, v. 12, n. 2, p. 1-11, 2017.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.
- MAHALANOBIS, P. C. On the generalized distance in statistics. *Proceedings of the National Institute of Sciences of India*, v. 2, n. 1, p. 49-55, 1936.
- MAIMAITIJIANG, M.; SAGAN, V.; SIDIKE, P.; MAIMAITIYIMING, M.; HARTLING, S.; MAW, M. J. W.; SHAKOOR, N.; MOCKLER, T.; FRITSCHI, F. B. Vegetation index weighted canopy volume model (CVMVI) for soybean biomass estimation from unmanned aerial system-based RGB imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 151, n. 1, p. 27-41, 2019.
- MARCOS FILHO, J. Teste de vigor de sementes: uma visão geral da perspectiva passada, presente e futura. *Scientia Agrícola*, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015.
- MARTINS, C. B.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; MÔRO, G. V.; VIEIRA, R. D. Methodology for the selection of soybean strains for germination, vigour and field emergence. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 3, p. 455-461, 2016.
- MATEI, G.; BENIN, G.; WOYANN, L. G.; DALLÓ, S. C.; MILIOLI, A. S.; ZDZIARSKI, A. D. Agronomic performance of modern soybean cultivars in multi-environment trials. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, n. 7, p. 500-511, 2017.
- MENEZES, M. de; PINHO, É. V. de R.; ROVERI JOSÉ, S. C. B.; BALDONI, A.; MENDES, F. F. Aspectos químicos e estruturais da qualidade fisiológica de sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 12, p. 1716-1723, 2009.

- MILLIGAN, G.; COOPER, M. C. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika*, v. 50, n. 2, p. 159-179, 1985.
- MOJENA, R. Hierarchical grouping method and stopping rules: an evaluation. *The Computer Journal*, v. 20, n. 4, p. 359-363, 1977.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. *Introduction to linear regression analysis*. New York: Jon Wiley & Sons, 2001. 504p.
- NOGUEIRA, A. P. O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, L. B.; HAMAWAKI, O. T.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, D. G.; MATSUO, É. Path analysis and correlations among traits in soybean grown in two dates sowing. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012.
- PIMENTEL GOMES, F. *Curso de Estatística Experimental*. 15. ed. São Paulo: Nobel, 2009. 451p.
- PLACE, G. T.; REBERG-HORTON, S. C.; CARTER, T. E.; SMITH, A. N. Effects of soybean seed size on weed competition. *Agronomy Journal*, v. 103, n. 1, p. 175-181, 2011.
- PURCELL, L. C. Soybean canopy coverage and light interception measurements using digital imagery. *Crop Science*, v. 40, n. 3, p. 834-837, 2000.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2016. Disponível em: <https://qgis.org>.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. 2015. Disponível em: <https://www.R-project.org>.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.
- RICHARDS, R. A.; WATT, M.; REBETZKE, G. J. Physiological traits and cereal germplasm for sustainable agricultural systems. *Euphytica*, v. 154, n. 3, p. 409-425, 2007.
- ROCHA, G. A. F.; ALVES, D. P.; OLIVEIRA, J. C.; BROMMONSCHENKEL, S. H. Identification and mapping of resistance genes to *Phakopsora pachyrhizi* in soybean (*Glycine max* L.) accession PI 594767-A. *Genetics and Molecular Research*, v. 15, n. 3, p. 1-15, 2016.
- ROCHA, T. S. M. da; STRECK, N. A.; BEXAIRA, K. P.; RIBAS, G. G.; TAGLIAPIETRA, E. L.; WINCK, J. E. M.; ARI WEBER, P. S.; RICHTER, G. L.; SILVA, M. R. da; ALVES, A. F.; RIBEIRO, B. S. M. R.; ZANON, A. J. Plastocrono e número final de nós de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 26, n. 1, p. 247-256, 2018.
- ROSA, D. P.; NOBRE, D. A. C.; OLIVEIRA, D. S.; SILVA, F. C. dos S.; BEZERRA, A. R. G.; SILVA, A. F. da; SEDIYAMA, T. Genetic diversity in soybean seed quality under different storage conditions. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 38, n. 1, p. 57-72, 2017.

SANTORUM, M.; NÓBREGA, L. H. P.; SOUZA, E. G. de; SANTOS, D. dos; BOLLER, W.; MAULI, M. M. Comparison of tests for the analysis of vigor and viability in soybean seeds and their relationship to field emergence. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 35, n. 1, p. 83-92, 2013.

SANTOS, E. R. dos; BARROS, H. B.; CAPONE, A.; MELO, A. V. de; CELLA, A. J. da S.; SANTOS, W. R. dos. Divergência genética entre genótipos de soja com base na qualidade de sementes. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, n. 2, p. 247-254, 2012.

SARYOKO, A.; FUKUDA, Y.; LUBIS, I.; HOMMA, K.; SHIRAIWA, T. Physiological activity and biomass production in crop canopy under a tropical environment in soybean cultivars with temperate and tropical origins. *Field Crops Research*, v. 216, n. 2, p. 209-216, 2018.

SCHEEREN, B. R.; PESKE, S. T.; SCHUCH, L. O. B.; BARROS, A. C. A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 32, n. 3, p. 35-41, 2010.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, v. 9, n. 7, p. 671-675, 2012.

SCHÖFFEL, E. R.; VOLPE, C. A. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para produção de fitomassa. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 9, n. 2, p. 241-249, 2001.

SEDIYAMA, T.; MATSUO, É.; OLIVEIRA, R. C. T.; GLASENAPP, J. S. Origem e evolução. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). *Melhoramento genético da soja*. Londrina: Mecenias, 2015. p. 11-18.

SETIYONO, T. D.; WEISS, A.; SPECHT, J.; BASTIDAS, A. M.; CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A. Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. *Field Crops Research*, v. 100, n. 2-3, p. 257-271, 2007.

SHIBLES, R. M.; WEBER, C. R. Leaf area, solar radiation interception, and dry matter production by various soybean planting patterns. *Crop Science*, v. 6, p. 575-577, 1965.

SILVA, F. C. dos S.; SEDIYAMA, T.; OLIVEIRA, R. de C. T.; BORÉM, A.; SILVA, F. L. da; BEZERRA, A. R. G.; SILVA, A. F. da. Importância econômica e evolução do Melhoramento. In: SILVA, F. L. da; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; LUDKE, W. (Ed.). *Melhoramento da soja*. Viçosa: Editora UFV, 2017. p. 9-29.

SINCLAIR, T. R.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L. Comparison of vegetative development in soybean cultivars for low latitude environments. *Field Crops Research*, v. 92, n. 1, p. 53-59, 2005.

SINGH, Y. P.; KUMAR, A.; CHAUHAN, B. P. S. Genetic divergence in pearl millet. *The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, v. 41, n. 1, p. 186-190, 1981.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendograms by objective methods. *Taxon*, v. 11, n. 2, p. 30-40, 1962.

SOKAL, R. R.; MICHENER, C. D. A statistical method for evaluating systematic relationships. *University of Kansas Science Bulletin*, v. 38, n. 22, p. 1409-1438, 1958.

STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, A. D.; MISSIO, E. L.; RUBIN, S. de A. L. Avaliação da precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de soja. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 3, p. 572-578, 2010.

STRECK, N. A.; PAULA, G. M. de; CAMERA, C.; MENEZES, N. L. de; LAGO, I. Estimativa do plastocrono em cultivares de soja. *Bragantia*, v. 67, n. 1, p. 67-73, 2008.

SUGIURA, R.; TSUDA, S.; TAMIYA, S.; ITOH, A.; NISHIWAKI, K.; MURAKAMI, N.; SHIBUYA, Y.; HIRAFUJI, M.; NUSKE, S. Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle. *Biosystems Engineering*, v. 148, n. 6, p. 1-10, 2016.

TAGLIAPIETRA, E. L.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M.; RICHTER, G. L.; SILVA, M. R., CERA, J. C.; GUEDES, J. V. C.; ZANON, A. J. Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. *Agronomy Journal*, v. 110, n. 3, p. 932-938, 2018.

TEIXEIRA, F. G.; HAMAWAKI, O. T.; NOGUEIRA, A. P. O.; HAMAWAKI, R. L.; JORGE, G. L.; HAMAWAKI, C. L.; MACHADO, B. Q. V.; SANTANA, A. J. O. Genetic parameters and selection of soybean lines based on selection indexes. *Genetics and Molecular Research*, v. 16, n. 3, p. 1-17, 2017.

TEODORO, P. E.; RIBEIRO, L. P.; CORRÊA, C. C. G.; LUZ JÚNIOR, R. A. A.; ZANUNCIO, A. S.; CAPRISTO, D. P.; TORRES, F. E. Path analysis in soybean genotypes as function of growth habit. *Bioscience Journal*, v. 31, n. 3, p. 794-799, 2015.

TODESCHINI, M. H.; MILIOLI, A. S.; ROSA, A. C.; DALLACORTE, L. V.; PANHO, M. C.; MARCHESE, J. A.; BENIN, G. Soybean genetic progress in South Brazil: physiological, phenological and agronomic traits. *Euphytica*, v. 215, n. 7, p. 124, 2019.

TUBEROSA, R.; SALVI, S.; GIULIANI, S.; SANGUINETI, M. C.; BELLOTTI, M.; CONTI, S.; LANDI, P. Genome-wide approaches to investigate and improve maize response to drought. *Crop Science*, v. 47, supp. 3, p. 120-141, 2007.

VANZOLINI, S.; ARAKI, C. A. dos S.; SILVA, A. C. T. M. da; NAKAGAWA, J. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 29, n. 2, p. 90-96, 2007.

VASCONCELOS, E. S. de; REIS, M. S.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D. Estimativas de parâmetros genéticos da qualidade fisiológica de sementes de genótipos de soja produzidas em diferentes regiões de Minas Gerais. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 33, n. 1, p. 65-76, 2012.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. *Genética biométrica no fitomelhoramento*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.

WRIGHT, S. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, v. 20, n. 7, p. 557-585, 1921.

WYSMIERSKI, P. T.; VELLO, N. A. The genetic base of Brazilian soybean cultivars: evolution over time and breeding implications. *Genetics and Molecular Biology*, v. 36, n. 4, p. 1-9, 2013.

XAVIER, A.; HALL, B.; HEARST, A. A.; CHERKAUER, K. A. A; RAINEY, K. M. Genetic architecture of phenomic-enabled canopy coverage in *Glycine max*. *Genetics*, v. 206, n. 2, p. 1081-1089, 2017.

ZAMBIAZZI, E. V.; BRUZI, A. T.; GUILHERME, S. R.; PEREIRA, D. R.; LIMA, J. G.; ZUFFO, A. M.; RIBEIRO, F. O.; MENDES, A. E. S.; GODINHO, S. H. M.; CARVALHO, M. L. M. Estimates of genetics and phenotypics parameters for the yield and quality of soybean seeds. *Genetics and Molecular Research*, v. 16, n. 3, p. 1-12, 2017.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M. da; ALBERTO, C. M.; BARTZ, A. C.; PAULA, G. M. de; TOMIOZZO, R.; COSTA, L. C. da; FENSTERSEIFER, C. A.; TAGLIAPIETRA, E. L.; CARDOSO, Â. P.; WEBER, P. S.; BEXAIRA, K. P. Efeito do tipo de crescimento no desenvolvimento de cultivares modernas de soja após o início do florescimento no Rio Grande do Sul. *Bragantia*, v. 75, n. 4, p. 446-458, 2016.

ZANON, A. J.; WINCK, J. E. M.; STRECK, N. A.; ROCHA, T. S. M. da; CERA, J. C.; RICHTER, G. L.; LAGO, I.; SANTOS, P. M. dos; MACIEL, L. M. da R.; GUEDES, J. V. C.; MARCHESAN, E. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. *Bragantia*, v. 74, n. 4, p. 400-411, 2015.

ZHANG, J.; SONG, Q.; CREGAN, P. B.; NELSON, R. L.; WANG, X.; WU, J.; JIANG, G. L. Genome-wide association study for flowering time, maturity dates and plant height in early maturing soybean (*Glycine max*) germplasm. *BMC Genomics*, v. 16, n. 217, p. 1-11, 2015.

## APÊNDICES

### Apêndice 1 Descrição do material genético utilizado nos experimentos.

Genótipo	<sup>1</sup> GMR	<sup>2</sup> Variedade	Genótipo	GMR	Variedade	Genótipo	GMR	Variedade	Genótipo	GMR	Variedade
95R51	5.3	Comercial	L-12	6.2	Linhagem	L-37	6.1	Linhagem	L-62	6.0	Linhagem
AS 3730 IPRO	7.0	Comercial	L-13	6.2	Linhagem	L-38	6.0	Linhagem	L-63	6.1	Linhagem
BMX LANÇA IPRO	5.8	Comercial	L-14	6.2	Linhagem	L-39	6.3	Linhagem	L-64	6.0	Linhagem
BMX ZEUS IPRO	5.6	Comercial	L-15	6.3	Linhagem	L-40	5.9	Linhagem	L-65	6.1	Linhagem
DM 5958 IPRO	5.9	Comercial	L-16	6.1	Linhagem	L-41	6.2	Linhagem	L-66	5.8	Linhagem
M5917 IPRO	6.0	Comercial	L-17	5.8	Linhagem	L-42	6.0	Linhagem	L-67	5.6	Linhagem
M5947 IPRO	6.0	Comercial	L-18	5.9	Linhagem	L-43	6.1	Linhagem	L-68	6.4	Linhagem
M6410 IPRO	6.4	Comercial	L-19	5.8	Linhagem	L-44	6.1	Linhagem	L-69	6.1	Linhagem
NA 5909 RG	6.0	Comercial	L-20	6.2	Linhagem	L-45	6.1	Linhagem	L-70	6.3	Linhagem
NS 6700 IPRO	6.8	Comercial	L-21	6.2	Linhagem	L-46	6.1	Linhagem	L-71	6.5	Linhagem
TMG 7058 IPRO	5.8	Comercial	L-22	6.5	Linhagem	L-47	6.1	Linhagem	L-72	6.5	Linhagem
TMG 7061 IPRO	6.1	Comercial	L-23	6.0	Linhagem	L-48	6.3	Linhagem	L-73	6.3	Linhagem
TMG 7062 IPRO	6.3	Comercial	L-24	6.4	Linhagem	L-49	6.0	Linhagem	L-74	5.8	Linhagem
TMG 7067 IPRO	6.4	Comercial	L-25	6.4	Linhagem	L-50	6.1	Linhagem	L-75	5.8	Linhagem
L-01	6.5	<sup>3</sup> Linhagem	L-26	6.4	Linhagem	L-51	6.1	Linhagem	L-76	6.3	Linhagem
L-02	5.6	Linhagem	L-27	6.2	Linhagem	L-52	6.6	Linhagem	L-77	6.5	Linhagem
L-03	5.7	Linhagem	L-28	6.1	Linhagem	L-53	6.4	Linhagem	L-78	6.6	Linhagem
L-04	5.8	Linhagem	L-29	6.4	Linhagem	L-54	6.1	Linhagem	L-79	6.0	Linhagem
L-05	6.0	Linhagem	L-30	6.2	Linhagem	L-55	6.3	Linhagem	L-80	6.2	Linhagem
L-06	6.0	Linhagem	L-31	6.4	Linhagem	L-56	6.2	Linhagem	L-81	6.0	Linhagem
L-07	5.8	Linhagem	L-32	6.1	Linhagem	L-57	6.3	Linhagem	L-82	5.7	Linhagem
L-08	6.2	Linhagem	L-33	6.3	Linhagem	L-58	6.5	Linhagem	L-83	6.4	Linhagem
L-09	6.0	Linhagem	L-34	5.7	Linhagem	L-59	6.3	Linhagem			
L-10	6.1	Linhagem	L-35	6.4	Linhagem	L-60	5.8	Linhagem			
L-11	6.1	Linhagem	L-36	6.4	Linhagem	L-61	6.1	Linhagem			

<sup>1</sup>Grupo de maturação relativa; <sup>2</sup>Tipo de variedade: As variedades comerciais são usadas nos experimentos como testemunhas; <sup>3</sup>Linhagem desenvolvida pelo programa de melhoramento de soja da empresa Tropical Melhoramento e Genética SA em fase final de avaliação para recomendação.