

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ALDAISA MARTINS DA SILVA DE OLIVEIRA

IMAGENS RGB OBTIDAS POR VANT NA FENOTIPAGEM DE ALTO RENDIMENTO
PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA

Uberlândia – Minas Gerais

2025

ALDAISA MARTINS DA SILVA DE OLIVEIRA

IMAGENS RGB OBTIDAS POR VANT NA FENOTIPAGEM DE ALTO RENDIMENTO
PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, para obtenção do título de “Doutora”.

Área de concentração: Melhoramento Genético.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki.

UBERLÂNDIA

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

O48
2025

Oliveira, Aldaísa Martins da Silva de, 1964-
Imagens RGB obtidas por Vant na fenotipagem de alto
rendimento para seleção de genótipos de soja [recurso eletrônico]
/ Aldaísa Martins da Silva de Oliveira. - 2025.

Orientador: Osvaldo Toshiyuki Hamawaki.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-
graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2025.665>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Hamawaki, Osvaldo Toshiyuki, 1954-, (Orient.).
II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em
Agronomia. III. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

ALDAISA MARTINS DA SILVA DE OLIVEIRA

IMAGENS RGB OBTIDAS POR VANT NA FENOTIPAGEM DE ALTO RENDIMENTO
PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Melhoramento Genético, para obtenção do título de “Doutora”.

Uberlândia, 30 de novembro de 2025.

Prof. Dra. Polianna Alves Silva Dias

IFGoiano

Prof. Dr. Wanderley Dias Guerra

APROSOJA

Prof. Dr. Fernando Cezar Juliatti

UFU

Prof. Dra. Ana Paula Oliveira Nogueira

UFU

Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki
(Orientador)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em
Agronomia

Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP
38400-902

Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppgagro.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese, 009/2025, PPGAGRO				
Data:	Trinta de outubro de dois mil e vinte e cinco	Hora de início:	09:10	Hora de encerramento:	12:30
Matrícula do Discente:	12123AGR001				
Nome do Discente:	Aldaísa Martins da Silva de Oliveira				
Título do Trabalho:	IMAGENS RGB OBTIDAS POR VANT NA FENOTIPAGEM DE ALTO RENDIMENTO PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Melhoramento de Plantas				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Ana Paula Oliveira Nogueira - UFU; Fernando Cezar Juliatti - UFU; Wanderlei Dias Guerra - APROSOJA MT, Polianna Alves Silva Dias - IF Goiano; Osvaldo Toshiyuki Hamawaki - UFU orientador do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao(à) Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Essa tese possui mérito para ser indicada como destaque do Programa? (x) SIM
NÃO ()

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação

interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Oliveira Nogueira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/12/2025, às 15:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wanderlei Guerra, Usuário Externo**, em 06/12/2025, às 13:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Osvaldo Toshiyuki Hamawaki, Usuário Externo**, em 08/12/2025, às 10:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Polianna Alves Silva Dias, Usuário Externo**, em 11/12/2025, às 07:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Cezar Juliatti, Usuário Externo**, em 11/12/2025, às 12:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6864055** e o código CRC **D27DA8EF**.

RESUMO

OLIVEIRA, A. M. S. **Imagens RGB obtidas por VANT na fenotipagem de alto rendimento para seleção de genótipos de soja.** Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki. 2025. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

O cenário hodierno promissor da soja no Brasil representa o reflexo da contribuição de inúmeras áreas, dentre as quais destacam-se biotecnologia, agricultura de precisão e avanços nos programas de melhoramento genético de plantas. Na atual fase do melhoramento genético vegetal, a fenotipagem de alto rendimento (HTP High-Throughput Phenotyping) tornou-se uma ferramenta de destaque promissora, possibilitando a avaliação de múltiplos caracteres com elevado nível de detalhamento espacial e temporal, algo antes inatingível pelas metodologias tradicionais. Objetivou-se nesta pesquisa não apenas selecionar genótipos superiores de soja em diferentes safras e épocas de semeadura aplicando-se a seleção direta, indireta e índice de seleção, mas também avaliar o uso de imagens RGB obtidas com VANTS na análise de caracteres agronômicos em soja para fins de melhoramento genético, no município de Buriti Alegre – GO. Os experimentos foram conduzidos à campo, no município supracitado, com semeaduras realizadas em 30 de novembro de 2023, 10 de dezembro de 2023, 30 de dezembro de 2023, 10 de dezembro de 2024 e 30 de dezembro de 2024. Foram utilizados 60 genótipos de soja, sendo 41 linhagens e 19 cultivares controle. Os genótipos estudados foram submetidos a diferentes técnicas de seleção, considerando-se a interação genótipos x ambientes, envolvendo-se seleção direta e indireta, bem como índices de seleção por soma de ranks para os caracteres: altura de planta na maturação, número de dias para maturação e produtividade de grãos. Foi igualmente efetuada uma análise de componentes principais (PCA), indicando a distribuição dos genótipos de soja (pontos) e das variáveis avaliadas (setas), dos caracteres agronômicos altura de plantas na maturação, número de dias para maturação, número de vagens, produtividade e índices de vegetação obtidos por imagens RGB (ExG, NGRDI e VARI) nos diferentes estádios fenológicos (R5 a R8). O estudo dos BLUPs reforçou os critérios de seleção exibidos pelos índices de vegetação, principalmente VARI e NGRDI. Observou-se pelos estudos diferentes números de grupos de maturidade relativa dos genótipos, variando de 5, 4, 2, 4, e 3 grupos respectivamente às semeaduras de 30/11/2023, 20/12/2023, 30/12/2023, 10/12/2024 e 30/12/2024, ou seja, foi conclusivo que a maturidade relativa foi influenciada pelo ambiente. Já o estudo da herdabilidade revelou que os caracteres agronômicos (número de dias para maturação e altura da planta na maturação) superaram o valor de herdabilidade para produtividade de grãos. Inclusive, a aplicação da fenotipagem de alto rendimento (HTP) por

meio de imagens RGB mostrou-se uma estratégia eficiente, não destrutiva e de baixo custo para a avaliação fenotípica de genótipos de soja, sendo que os índices de vegetação ExG, VARI e NGRDI apresentaram forte relação com os caracteres agronômicos altura média de planta (APM), número de vagens (NV), produtividade de grãos (PROD) e número de dias para maturação (NDM), demonstrando potencial para uso na seleção indireta de genótipos promissores.

Palavras-chave: *Glycine max*; melhoramento genético; imagens; caracteres; produtividade.

ABSTRACT

OLIVEIRA, A. M. S. **RGB images obtained by UAV in high-throughput phenotyping for soybean genotype selection.** Professor Adviser: Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki. 2025. 92 f. Thesis (Doctor in Agronomy) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia.

The current promising soybean scenario in Brazil reflects the contributions of numerous areas, including biotechnology, precision agriculture and advances in plant breeding programs. In the current phase of plant breeding, high-throughput phenotyping (HTP) stands out to be a promising tool, enabling the evaluation of multiple variables with a high level of spatial and temporal detail, what showed to mean until now unattainable with traditional methodologies. The objective of this research aimed not only to select superior soybean genotypes in different growing and sowing seasons by applying direct, indirect and selection index, but also to evaluate the use of RGB images obtained with UAVs in the analysis of agronomic variables in soybean for genetic breeding purposes, in Buriti Alegre city - GO. The experiments were conducted on the field of this city, with sowings carried out on November 30, 2023, December 10, 2023, December 30, 2023, December 10, 2024, and December 30, 2024. 60 soybean genotypes, 41 lines and 19 control cultivars were used for this purpose. The studied genotypes were subjected to different selection techniques, considering the genotype x environment interaction, involving direct and indirect selection as well as selection indices by sum of ranks, for the following variables: plant height at maturity, number of days to maturity and grain yield. A principal component analysis (PCA) indicated the distribution of soybean genotypes (dots) and its evaluated variables (arrows), of the agronomic variables: plant height at maturity, number of days to maturity, number of pods, productivity and vegetation indices obtained from RGB images (ExG, NGRDI and VARI) at different phenological stages (R5 to R8). The study of BLUPs reinforced the selection criteria indicated by the vegetation indices, mainly VARI and NGRDI. Different numbers of relative maturity groups of genotypes were observed, ranging from 5, 4, 2, 4, and 3 groups, respectively, for the sowing dates: 11/30/2023, 12/20/2023, 12/30/2023, 12/10/2024, and 12/30/2024, which strongly means that the relative maturity was influenced by the environment. The heritability study revealed that the specifically agronomic variables number of days to maturity and plant height at maturity exceeded the heritability value for grain yield. Furthermore, the application of high-performance phenotyping (HTP) using RGB images proved to be an efficient, non-destructive and low-cost strategy for the phenotypic evaluation of soybean genotypes. Moreover, the vegetation indices ExG, VARI and NGRDI submitted evidence of a strong relation with the agronomic variables average plant height (APM), number of pods (NV), grain yield (PROD) and number of days to

maturity (NDM), setting forth potential for its application in the indirect selection of promising genotypes.

Key-words: *Glycine max*; plant breeding; image; variables; yield.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	8
Resumo	10
Abstract	12
CAPÍTULO 1 INTERAÇÃO GXA E ÍNDICES DE SELEÇÃO DE GENÓTIPOS VISANDO CARACTERES AGRONÔMICOS E PRODUÇÃO DE GRÃOS	13
1 Introdução	13
Objetivo	15
2 Material e Métodos	15
2.1 Área, delineamento experimental, tratamentos e caracteres agronômicos	15
2.2 Análise estatística dos dados	19
3 Resultados e Discussão	22
5 Conclusão	32
REFERÊNCIAS	33
APÊNDICE A – Tabelas extras do capítulo 1.....	38
Resumo	47
Abstract	48
CAPÍTULO 2 USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NA FENOTIPAGEM DIGITAL DE SOJA	49
Introdução	49
Objetivo	51
2 Material e Métodos	51
2.1 Área, delineamento experimental, tratamentos e caracteres agronômicos	51
2.2 Análise estatística dos dados	63
3 Resultados e Discussão	64
5 Conclusão	84
REFERÊNCIAS	84
APÊNDICE B – Tabelas extras do capítulo 2.....	87

INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas de maior relevância socioeconômica para o Brasil, em face a seu desempenho como papel fundamental na balança comercial e na geração de renda no meio rural. O país se consolidou como um dos principais produtores e exportadores mundiais do grão, responsável pela significativa parcela do Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário nacional. Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de soja, cuja liderança de produção recai sobre o estado do Mato Grosso, estando à frente dos Estados Unidos e da Argentina. Além de sua importância econômica, a cadeia produtiva da soja gera milhões de empregos diretos e indiretos, movimentando setores como transporte, indústria de óleos vegetais, produção de biodiesel e ração animal, cuja implementação se encontra de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento CONAB (2025).

O Brasil alcançou tal liderança mundial de produção de soja em razão da combinação de fatores tecnológicos, econômicos e ambientais, a qual favoreceu o avanço da cultura em diversas regiões do país. Inclusive, o desenvolvimento de cultivares adaptadas a diferentes condições de solo e clima representa o resultado de intensos trabalhos em diversas áreas, nas quais se destacam o melhoramento de plantas, tecnologias de produção etc. desenvolvidos por empresas públicas e privadas, instituições de ensino e pesquisa, dentre outros (Tecnologias [...], 2013). Além disso, práticas de manejo sustentável, tais como o sistema de plantio direto, a correção da acidez dos solos e o uso de inoculantes biológicos, elevaram significativamente a produtividade (Gazzoni, 2023). De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária MAPA (Brasil, 2024), o apoio governamental e o investimento em infraestrutura de transporte e armazenagem também contribuíram significativamente para a consolidação do país como o principal exportador mundial de soja, impulsionado pela crescente demanda global por grãos e derivados.

A gestão eficiente do agronegócio da soja, juntamente com o uso de tecnologias de redução de riscos e custos, promove o aumento da produtividade de forma sustentável e ambientalmente responsável, sendo essencial para garantir a competitividade da oleaginosa em mercados cada vez mais globalizados (Seixas *et al.*, 2020). Segundo Conab (2025), a produção brasileira de soja na safra 2024/2025 está estimada em 171,5 milhões de toneladas, representando um aumento de aproximadamente 13,3% em relação à safra anterior.

Neste ínterim, para que a soja possa manter seu protagonismo, são necessários tanto investimentos contínuos em ciência e tecnologia, bem como a continuidade dos programas de melhoramento genético de soja, os quais se mostram fundamentais para sustentar os avanços obtidos nas últimas décadas e atender as novas demandas produtivas, ambientais e de mercado.

Tais programas buscam desenvolver genótipos com maior produtividade, estabilidade, resistência a estresses bióticos e abióticos e melhor qualidade de grãos, contribuindo diretamente para a competitividade da cultura (Almeida *et al.*, 2022). Consequentemente, a soma de todos os fatores supracitados, com destaque para a fenotipagem de plantas por meio de imagens digitais, resultou no cenário promissor da soja no Brasil, cuja agricultura de precisão tem ganhado respaldo nos programas de melhoramento genético de plantas. Esta fenotipagem por imagem possibilita a obtenção de valores qualitativos e/ou quantitativos das características analisadas, permitindo sua correlação com o desempenho de um genótipo em um determinado ambiente (Dhondt, Wuyts e Inzé, 2013).

Nesse contexto, a fenotipagem de precisão surge como uma ferramenta estratégica para acelerar o processo seletivo, permitindo a avaliação detalhada e não destrutiva de caracteres morfológicos, fisiológicos e agrônômicos por meio de tecnologias de sensoriamento e análise de imagens (Alves *et al.*, 2023). Em concordância se encontram Fonseca, Souza e Martins. (2021) na aplicação dessas abordagens, a qual possibilita identificar genótipos superiores com maior eficiência e reduzir o tempo necessário para o lançamento de novas cultivares, tornando o processo de melhoramento mais dinâmico e assertivo.

A utilização de imagens RGB (do inglês: Red, Green and Blue) capturadas por Vants (veículos aéreos não tripulados) para a obtenção de índices de vegetação tem se mostrado uma estratégia plausível em pesquisas de melhoramento genético (Alves, 2024). Simultaneamente, os Vants possibilitam a captura de imagens aéreas de grandes áreas com alta resolução espacial, maior frequência e custo acessível, viabilizando sua aplicação em larga escala. Em outros termos, o alto rendimento operacional e a precisão espacial na estimativa dessas características, por meio de imagens aéreas obtidas por Vants, podem auxiliar na avaliação do desempenho de genótipos de soja, nas práticas de manejo e na identificação dos impactos de estresses bióticos e abióticos, contribuindo para a tomada de decisão por melhoristas (Souza *et al.*, 2015).

De acordo com Peixoto (2020), a fenotipagem de alto rendimento agrega eficiência e confere maior precisão aos programas de melhoramento genético de plantas. Por meio do uso de índices de vegetação, auxilia na avaliação de características de difícil mensuração e na prevenção da maturação e produtividade.

Diante do exposto, objetivou-se nesta pesquisa não apenas selecionar genótipos superiores de soja em diferentes safras e épocas de semeadura, aplicando seleção direta, indireta e índice de seleção, mas também avaliar o uso de imagens RGB obtidas com VANTS na análise de caracteres agrônômicos em soja para fins de melhoramento genético.

RESUMO

OLIVEIRA, A. M. S. **Interação GxA e Índices de seleção de genótipos visando caracteres agronômicos e produção de grãos.** Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki. 2025. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

A interação entre genótipos por ambientes (GXA) exerce papel determinante no desempenho produtivo da soja, pois a resposta das cultivares varia conforme as condições edafoclimáticas, o manejo e as épocas de semeadura. Objetivou-se nesta pesquisa selecionar genótipos superiores de soja em diferentes safras e épocas de semeadura aplicando seleção direta, indireta e índice de seleção, no município de Buriti Alegre - GO. Os experimentos foram conduzidos no município de Buriti Alegre – GO, com semeaduras realizadas em 30 de novembro de 2023, 10 de dezembro de 2023, 30 de dezembro de 2023, 10 de dezembro de 2024 e 30 de dezembro de 2024, utilizando sessenta genótipos de soja, sendo 41 linhagens e 19 cultivares controle. Os genótipos estudados foram avaliados quanto o número de dias para maturação, altura da planta na maturação e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância individual e conjunta, bem como estudo da interação GXA, e analisados quantos aos critérios de seleção direta e seleção indireta bem como à índices de seleção por soma de ranks, para os caracteres altura de planta na maturação, número de dias para maturação e produtividade de grãos. Foi observado diferentes números de grupos de maturidade relativa dos genótipos variando de 5, 4, 2, 4, e 3 grupos respectivamente às semeaduras de 30/11/2023, 20/12/2023, 30/12/2023, 10/12/2024 e 30/12/2024, ou seja, a maturidade foi influenciada pelo ambiente, sendo relativa. Já o estudo da herdabilidade revelou que os caracteres agronômicos número de dias para maturação e altura da planta na maturação foram de alta magnitude, superando 70%, ao passo que a herdabilidade para produtividade de grãos oscilou de 50,34% a 74,78%. Detectou-se interação GXA significativa ao nível de 1% pelo teste F para todos os caracteres. A interação GXA foi de natureza simples para o número de dias para a maturação enquanto a interação GXA foi complexa para altura da planta na maturação e produtividade de grãos. Na seleção direta e indireta, espera-se, inicialmente, obter ganhos em um único caráter alvo da seleção, podendo haver respostas positivas ou negativas em outros caracteres de importância secundária. A seleção por índices de soma de ranks se ajustou mais aos resultados desta pesquisa como critério de seleção de genótipos promissores, expressando um ganho se seleção mais balanceado. Com base nos resultados da seleção direta, seleção indireta e índices de soma de ranks de Mulamba e Mock (1978), as melhores linhagens selecionadas foram UFUS 7, UFUS 9, UFUS 23, UFUS 30, UFUS 36, UFUS 38, UFUS 42 e UFUS 49.

Palavras-chave: *Glycine max*; melhoramento genético; imagens; ciclo; produtividade.

ABSTRACT

OLIVEIRA, A. M. S. **GxE interaction and genotype selection indices targeting agronomic traits and grain production.** Adviser: Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki. 2025. 92 f. Thesis (Doctor in Agronomy) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia.

Genotype-by-environment interaction (GXE) plays a decisive role in soybean yield performance, as cultivar response varies depending on soil and climate conditions, management, and sowing dates. This research aimed to select superior soybean genotypes for different crop seasons and sowing dates, applying direct and indirect selection, and a selection index, in the municipality of Buriti Alegre, Goiás. The experiments were conducted in the municipality of Buriti Alegre, Goiás, with sowings carried out on November 30, 2023, December 10, 2023, December 30, 2023, December 10, 2024, and December 30, 2024, using sixty soybean genotypes (41 lines and 19 control cultivars). The studied genotypes were evaluated for number of days to maturity, plant height at maturity, and grain yield. The data were subjected to individual and joint analysis of variance, as well as a study of the GXA interaction, and analyzed according to the direct and indirect selection criteria, as well as selection indices by sum of ranks, for the traits plant height at maturity, number of days to maturity, and grain yield. Different numbers of relative maturity groups of the genotypes were observed, ranging from 5, 4, 2, 4, and 3 groups, respectively, for the sowings of 11/30/2023, 12/20/2023, 12/30/2023, 12/10/2024, and 12/30/2024. That is, maturity was influenced by the environment and is relative. The heritability study revealed that the agronomic traits number of days to maturity and plant height at maturity were of high magnitude, exceeding 70%, while the heritability for grain productivity ranged from 50.34% to 74.78%. A significant GXA interaction was detected at the 1% level by the F test for all traits. The GXA interaction was simple for number of days to maturity, while the GXA interaction was complex for plant height at maturity and grain yield. In direct and indirect selection, gains are initially expected in a single target trait, with positive or negative responses possible in other traits of secondary importance. Selection by rank sum indices best suited the results of this study as a criterion for selecting promising genotypes, expressing a more balanced selection gain. Based on the results of direct selection, indirect selection, and rank sum indices from Mulamba and Mock (1978), the best selected lines were selected lines were UFUS 7, UFUS 9, UFUS 23, UFUS 30, UFUS 36, UFUS 38, UFUS 42, and UFUS 49.

Key-words: *Glycine max*; plant breeding; image; cycle; yield.

Capítulo 1 – INTERAÇÃO GXE E ÍNDICES DE SELEÇÃO DE GENÓTIPOS VISANDO CARACTERES AGRONÔMICOS E PRODUÇÃO DE GRÃOS

1 Introdução

A primeira posição entre os maiores produtores de soja é ocupada pelo Brasil, cuja contribuição representa cerca de 35% do abastecimento mundial. Esta é uma cultura expressiva para o agronegócio brasileiro, sendo responsável por aproximadamente 53% das exportações (Santana *et al.*, 2024). O sucesso da soja brasileira deve-se à contribuição de diferentes áreas envolvendo ciência e tecnologia e disponibilizando genótipos adaptados às diferentes condições edafoclimáticas e ao desenvolvimento de tecnologia de produção.

Em programas de melhoramento genético, a busca por maior produtividade de grãos e adaptação a diferentes ambientes edafoclimáticos exige constante desenvolvimento de cultivares de soja mais produtivas e resilientes. Certamente, a etapa essencial neste processo é a seleção de genótipos promissores, através da qual permite-se identificar materiais com alto potencial produtivo e estabilidade fenotípica em diferentes ambientes (Cruz, Regazzi e Carneiro, 2014). Já a etapa de avanço de seleção envolve identificar e escolher os melhores genótipos para um determinado ambiente, considerando-se os grupos de maturidade das cultivares para cada região de plantio, com base em caracteres agronômicos de interesse. Neste ponto, os programas de melhoramento das empresas buscam, por meio de estratégias de seleção, validar as informações agronômicas do germoplasma, facilitando o avanço de gerações ano após ano (Borém, Miranda e Fritsche-Neto, 2021).

Não obstante, as pesquisas voltadas ao melhoramento genético da soja retratam sua extrema importância para a sojicultura, ao permitirem o desenvolvimento de cultivares superiores de maneira sustentável e ambientalmente equilibrada. Entre os principais objetivos das instituições de pesquisa nessa área, destacam-se a obtenção de linhagens com ciclo mais precoce, alta produtividade de grãos, resistência a doenças, maior estabilidade e melhor adaptação às diversas condições de cultivo. Com o intuito de desenvolver linhagens com características agronômicas superiores, diversas abordagens têm sido amplamente empregadas por esses programas de melhoramento (Hamawaki *et al.*, 2012).

De acordo com Andrade (2015), as características altura da planta na maturação, número de vagens, produtividade de grãos, dentre outras, são consideradas adequadas para o processo de seleção por apresentarem ampla variabilidade genética. A estratégia seletiva aplicada então baseada nestes determinados caracteres possibilitou a identificação de genótipos de soja com bons componentes de rendimento, maior precocidade, menor porte e resistência ao acamamento.

Neste sentido, a seleção direta, a seleção indireta e os índices de seleção caracterizam as ferramentas utilizadas no melhoramento genético para otimizar a escolha dos indivíduos mais promissores para a reprodução. Consequentemente, a seleção conjunta de múltiplos caracteres de importância econômica eleva as chances de sucesso em um programa de melhoramento genético.

Para isso, a teoria do índice de seleção possibilita a combinação das múltiplas informações obtidas na unidade experimental, permitindo a seleção com base em um conjunto de variáveis, as quais abrangem diversos atributos de interesse econômico. Deste modo, o índice de seleção constitui-se em um caráter adicional, estabelecido pela combinação linear ótima de vários caracteres, através da qual permite-se efetuar, com eficiência, a seleção simultânea (Cruz, Regazzi e Carneiro, 2014).

Diversos índices de seleção têm sido propostos na literatura para aplicação em programas de melhoramento de plantas (Cruz e Carneiro, 2006). De acordo com estes renomados autores, para a seleção dos genótipos superiores e a estimativa dos ganhos genéticos, foram adotados os seguintes critérios: índice baseado em soma de “ranks” (Mulamba e Mock, 1978), índice baseado nos ganhos desejados (Pesek e Baker, 1969), índice base (Willians, 1962), índice clássico (Smith, 1936; Hazel, 1943) e seleção direta e indireta.

Segundo Costa *et al.* (2004), na seleção direta e indireta, espera-se, inicialmente, obter ganhos em um único caráter alvo da seleção, podendo haver respostas positivas ou negativas em outros caracteres de importância secundária. Observa-se diversas vantagens na utilização de índices de seleção na cultura da soja, pois o estudo dos mesmos propicia maiores ganhos totais distribuídos entre os diferentes caracteres avaliados, o que torna essa abordagem mais adequada aos programas de melhoramento genético. Dentre os índices de seleção, para as condições do trabalho de Costa *et al.* (2004), destaca-se o índice baseado na soma de “ranks” (Mulamba e Mock, 1978) como o mais adequado com progressos superiores em variadas situações.

Em relação à característica interação genótipos por ambientes, esta exerce papel determinante no desempenho produtivo da soja, pois a resposta das cultivares varia conforme as condições edafoclimáticas, o manejo e as épocas de semeadura. Tal interação é um dos principais desafios do melhoramento genético, uma vez que pode modificar a expressão fenotípica dos caracteres de interesse e dificultar a identificação de genótipos promissores (Cruz, Regazzi e Carneiro, 2014). Por esse motivo, a compreensão desses efeitos permite selecionar cultivares mais adaptadas e estáveis em diferentes regiões e safras, contribuindo para

o aumento da produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de produção (Borém, Miranda e Fritsche-Neto, 2021).

No que se refere à capacidade adaptativa, é importante destacar que a soja é cultivada em diversas regiões do mundo, sob ampla variedade de ambientes influenciadores significantes da produtividade de grãos dos diferentes materiais genéticos, em razão da interação genótipo x ambiente (Yokomizo, Silva Neto e Arias, 2018).

Um outro fator, o qual muito impacta a produtividade de grãos, é a época de implantação da cultura, visto que esta influencia diretamente a arquitetura das plantas, podendo alterá-la conforme o período de realização da semeadura (Carmo *et al.*, 2018). Cruz *et al.* (2010) estudaram a época de semeadura de cultivares de soja e concluíram que a implantação tardia da cultura da soja resulta em produtividade inferior quando comparada à semeadura realizada em épocas mais precoces.

Objetivo

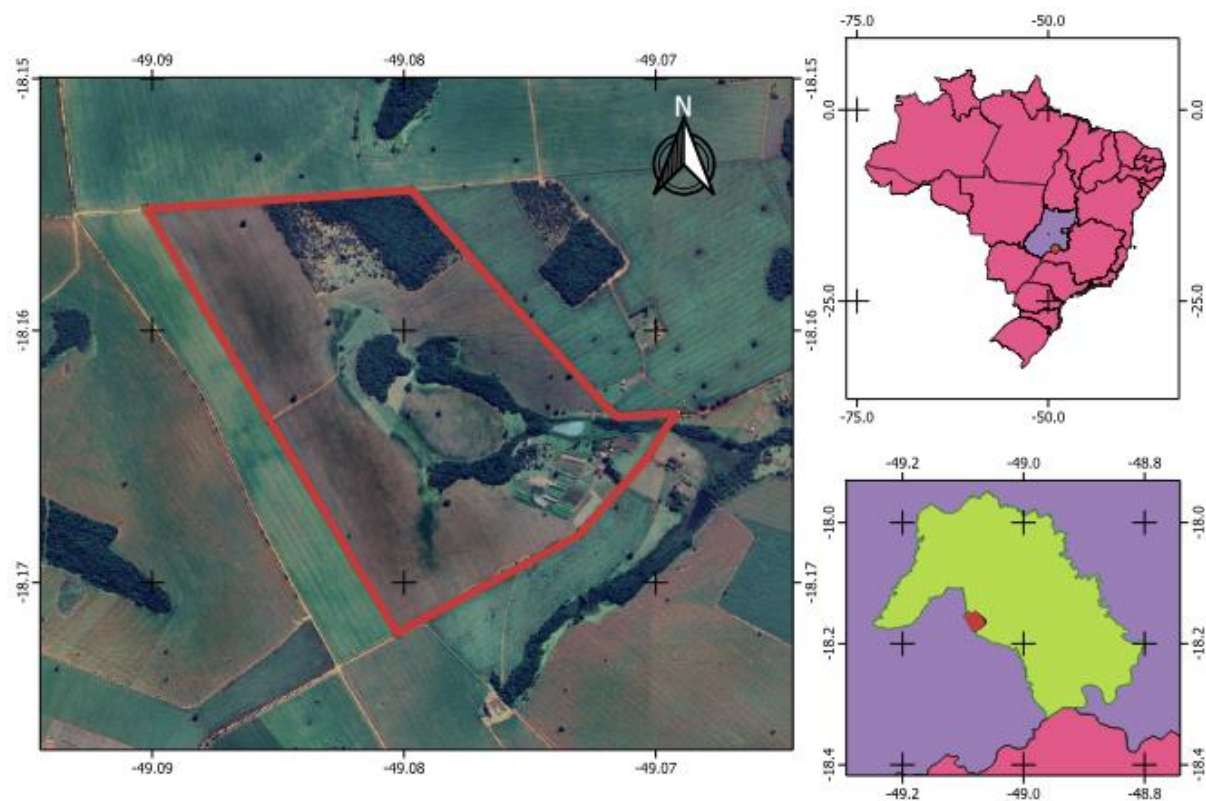
Objetivou-se nesta pesquisa selecionar genótipos superiores de soja em diferentes safras e épocas de semeadura aplicando seleção direta, indireta e índice de seleção, no município de Buriti Alegre – GO.

2 Material e métodos

Área, delineamento experimental, tratamentos e caracteres agronômicos:

O experimento foi conduzido em condições de campo, na área demarcada em destaque na Figura 1, localizada na Fazenda São José, localizada no município de Buriti Alegre - GO, cujas coordenadas geográficas são 18°09'59" de latitude Sul e 49°04'21" de longitude Oeste, ficando a uma altitude de 840 m.

Figura 1 – Mapa da área experimental, Fazenda São José, Buriti Alegre - GO, GO-419, km 2.



Fonte: autoria própria.

O Estado de Goiás possui clima predominante tropical semiúmido, cujas características se apresentam em duas estações distintas: uma de seca (maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril). A temperatura varia de 15 a 32°C, raramente atingindo valores abaixo de 12 °C ou acima de 36 °C. A precipitação pluviométrica anual varia entre 1300 e 1600 mm. Com relação à vegetação, o bioma Cerrado mostra-se predominante. Quanto ao tipo de solo, prepondera o latossolo vermelho, caracterizado por ser rico em nutrientes e ter boa capacidade de retenção de água, o que o torna adequado para a agricultura (Embrapa, 2025).

Já o município de Buriti Alegre – GO apresenta clima do tipo Aw, segundo a classificação climática de Koppen, com temperatura média anual de 22,1°C e precipitação média anual de 1581,6 mm (Classificação [...], 2025). O solo do município e da área experimental é do tipo latossolo (Nascimento, 2017). De acordo com Lepsch (2002), devido ao avançado grau de intemperismo a que foram submetidos, os latossolos geralmente apresentam grande profundidade, elevada porosidade e boa permeabilidade. Porém, são carentes em nutrientes, o que resulta em baixa fertilidade natural.

O delineamento experimental adotado foi o delineamento em blocos casualizados com 60 tratamentos (41 genótipos de soja de gerações F4, F5 e F6 e 19 cultivares comerciais de soja)

e 3 repetições (Tabela 1), sendo os genótipos pertencentes ao núcleo de pesquisa em genética e melhoramento de soja da UFU, Uberlândia-MG.

TABELA 1 – Listagem dos genótipos e cultivares controle estudados na pesquisa safra 2023/2024 e 2024/2025.

Tratamento	Genótipo/Controle	Genealogia/Cultivares controle	Geração 23/24	Geração 24/25
1	UFUS 1	(6901 x TMG 801) X TMG 801	F4	F5
2	UFUS 2	(6901 x TMG 801) X TMG 801	F4	F5
3	UFUS 3	(6901 x TMG 801) X TMG 801	F4	F5
4	C4 Controle	BRASMAX GUEPARDO IPRO		
5	UFUS 5	(6901 x TMG 801) X TMG 801	F4	F5
6	UFUS 6	(6901 x TMG 801) X TMG 801	F4	F5
7	UFUS 7	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F4	F5
8	UFUS 8	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F4	F5
9	UFUS 9	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F4	F5
10	UFUS 10	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F4	F5
11	UFUS 11	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F4	F5
12	UFUS 12	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F4	F5
13	UFUS 13	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	F4	F5
14	UFUS 14	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	F4	F5
15	UFUS 15	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	F4	F5
16	C16 Controle	STINE77AEA40		
17	UFUS 17	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	F4	F5
18	UFUS 18	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	F4	F5
19	UFUS 19	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F4	F5
20	UFUS 20	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F4	F5
21	UFUS 21	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F4	F5
22	UFUS 22	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F4	F5
23	UFUS 23	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F4	F5
24	UFUS 24	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F4	F5
25	C25 Controle	BRSGO 7560		
26	C26 Controle	BRASMAX BONUS IPRO		
27	C27 Controle	TMG 801		
28	C28 Controle	BRASMAX TORMENTA CE		
29	UFUS 29	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	F4	F5
30	UFUS 30	UFUS6901/TMG801-RC1P2	F5	F6
31	UFUS 31	BRS7380RR/TMG1179RR	F5	F6
32	C32 Controle	UFUS6901		
33	UFUS 33	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	F4	F5
34	UFUS 34	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	F4	F5
35	UFUS 35	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	F5	F6
36	UFUS 36	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	F5	F6
37	UFUS 37	BRS7380RR/TMG1179RR	F5	F6
38	UFUS 38	BRS7380RR/TMG1179RR	F5	F6

39	C39 Controle	TMG1179RR		
40	UFUS 40	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	F4	F5
41	C41 Controle	BRS 284		
42	UFUS 42	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P1	F5	F6
43	UFUS 43	TMG801/BMX_DESAFIO	F5	F6
44	UFUS 44	TMG801/BMX_DESAFIO	F5	F6
45	UFUS 45	BRS7380RR/TMG1179RR	F4	F5
46	UFUS 46	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	F4	F5
47	C47 Controle	BRS 7580		
48	UFUS 48	TMG801/BMX_DESAFIO	F5	F6
49	UFUS 49	TMG801/BMX_DESAFIO	F5	F6
50	C 50Controle	LG 60174 IPRO		
51	UFUS 51	UFUS6901/TMG801-RC1P2	F5	F6
52	UFUS 52	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	F4	F5
53	C53 Controle	BRASMAX OLIMPO IPRO		
54	C54 Controle	HO COARI I2X		
55	C55 Controle	HO MUTUM I2X		
56	C56 Controle	HO PRATA I2X		
57	C57 Controle	HO GUAPO I2X		
58	C58 Controle	HO CORUMBA IPRO		
59	C59 Controle	HO APORE IPRO		
60	C60 Controle	HO IGUAÇU IPRO		

Fonte: autoria própria.

A parcela experimental foi constituída por duas linhas de dois metros lineares, com espaçamento de 0,5 m entre linhas, sendo a parcela útil equivalente a dois metros lineares centrais, excluindo-se 0,5 m de cada extremidade.

O experimento foi conduzido em área previamente cultivada, a qual passou por preparo convencional do solo. Inicialmente, realizou-se uma aração com arado de discos, seguida de duas gradagens niveladoras, com o objetivo de proporcionar melhor uniformidade do terreno e condições adequadas para o estabelecimento da cultura.

As sementes foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando o inoculante do tipo turfoso, na dose de 100 mL para 50 kg de sementes, visando a promoção da fixação biológica de nitrogênio e o bom desenvolvimento inicial das plantas.

O experimento foi realizado em 3 épocas de semeadura, na safra 2023/2024 sendo nos dias 30/11, 20/12 e 30/12/2023 e em 2 épocas de semeadura na safra 2024/2025, sendo nos dias 10/12 e 30/12/2024, com uma densidade de semeadura de 14 sementes por metro em todos os ensaios. Todas as datas de semeadura ocorreram dentro do calendário de zoneamento agrícola de risco climático para o município de Buriti Alegre – GO.

Após a emergência da cultura, foram realizadas aplicações de herbicidas pós-emergentes para o controle de plantas daninhas de folhas largas e estreitas. Utilizou-se o herbicida seletivo e sistêmico de princípio ativo clorimuron na dose de 80 g.ha⁻¹ para controle de plantas daninhas de folhas largas e o herbicida seletivo e sistêmico de princípio ativo clethodim, na dose de 0,45 L.ha⁻¹, para controle de plantas daninhas de folhas estreitas.

Para o controle de pragas da soja, principalmente lagartas desfolhadoras e percevejos do grão, foram realizadas aplicações de inseticidas conforme o monitoramento da lavoura. O inseticida utilizado foi o princípio ativo tiametoxam + lambda-cialotrina na dose de 0,2 L.ha⁻¹ para controle de lagartas e percevejos, aplicados com pulverizador costal, seguindo-se as boas práticas agrícolas e o uso de equipamentos de proteção individual. Já para o controle de doenças, foi utilizado o fungicida de princípio ativo bixafem + protioconazol + trifloxistrobina na dose de 0,5 L.ha⁻¹.

Todos os tratos culturais e fitossanitários seguiram as recomendações técnicas para a cultura da soja (Seixas *et al.*, 2020), garantindo o adequado desenvolvimento das plantas e a padronização das condições experimentais.

Os seguintes caracteres foram avaliados:

- Número de dias para a maturação (NDM): realizado quando a planta se encontrava no estágio fenológico R8 (Fehr e Caviness, 1977) e contado a partir da data de semeadura até a data em que pelo menos 50% das plantas da área útil apresentavam 95% das vagens maduras, expresso em dias.

- Altura da planta na maturação (APM): realizado quando a planta se encontrava no estágio fenológico R8 e medido utilizando-se uma régua/trena. A medição foi efetuada a partir da base da planta até o ponto mais alto da haste principal, sendo o valor obtido expresso em centímetros (cm).

- Produtividade de grãos (PROD): valor obtido por meio da pesagem dos grãos da área útil da parcela, após colheita e beneficiamento das plantas. Posteriormente, a massa dos grãos foi determinada em balança digital, sendo os valores expressos em g m⁻¹.

Análise estatística dos dados

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) por meio do teste de médias de Scott-Knott ao nível de 5% de significância. A ANOVA seguiu o modelo estatístico abaixo considerando delineamento de blocos casualizados e os efeitos de genótipo aleatório:

$$Y_{ij} = \mu + B_j + G_i + \epsilon_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} : valor de cada caráter em uma parcela que compreende o i-ésimo genótipo no j-ésimo bloco;

μ : média geral do caráter;

G_i : efeito do genótipo considerado aleatório i;

B_j : efeito do bloco considerado aleatório j;

ε_{ij} : efeito do erro considerado aleatório.

Foram estimados o coeficiente de variação genotípica (CVg) e a razão entre o coeficiente de variação genotípica e ambiental (CVg/CVe):

$$CV_g = \frac{\sigma_g}{m} \times 100$$

Em que:

CV_g: Coeficiente de variação genético;

σ_g : Estimativa do desvio padrão genotípico;

m: média observada do caráter.

Posteriormente, foi estimada a herdabilidade com base na equação a seguir:

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{QMT/r}$$

$$\sigma_g^2 = \frac{(QMT-QMR)}{r}$$

Em que:

h^2 : Herdabilidade;

σ_g^2 : variância genética;

QMT: quadrado médio do tratamento na ANOVA;

QMR: quadrado médio do resíduo na ANOVA;

r: número de repetições.

Adotando-se três estratégias de seleção: seleção direta, seleção indireta e baseada em índices, foi determinado o ganho de seleção para os caracteres. Para tal resultado, foram aplicadas intensidades de seleção de 20%.

Os ganhos de seleção (GS) para a seleção direta e indireta foram baseados no diferencial de seleção pelas fórmulas a seguir:

$$GS_i = (\bar{X}_{si} - \bar{X}_{oi})h_i^2 = DS_i h_i^2$$

Em que:

GS_i: ganho de seleção direta no i-ésimo caráter;

X_{si}: média das progênies selecionadas para o caráter i;

X_{oi}: média original da população para o caráter i;

DS_i: diferencial de seleção praticado na população;

h²_i: Herdabilidade do caráter i.

$$GS_{j(i)} = DS_{j(i)} h_j^2$$

Em que:

GS_{j(i)}: ganho de seleção indireta no j-ésimo caráter pela ação no i-ésimo caráter;

DS_{j(i)}: diferencial de seleção indireta obtido em função da média do caráter j nos indivíduos selecionados com base no caráter i.

A classificação dos genótipos pelo índice de seleção baseado na soma de “ranks” é realizada de acordo com a ordem de ganhos favoráveis ao melhoramento, para cada caráter, e pelos ganhos de seleção direto e indireto. Ao final, soma-se as ordens de cada caráter para o genótipo resultando uma medida tomada como índice, como descrito pela equação a seguir:

$$I = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij}$$

Em que:

I = Valor do índice de seleção para determinado genótipo.

n = Número total de caracteres (ou variáveis) incluídos no índice.

w_j = *Peso do caráter j*

r_{ij} = *Rank do genótipo i para o caráter j*

Realizou-se a análise de variância conjunta, adotando-se efeitos aleatórios para genótipos e ambientes, conforme modelo descrito abaixo:

$$Y_{ijk} = \mu + B_k/A_j + G_i + A_j + GA_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

μ : média geral;

G_i : efeito do genótipo i

A_j : efeito do ambiente j

GA_{ij} : efeito da interação genótipo por ambiente

B_k/A_j : efeito do bloco k dentro do ambiente j

ε_{ijk} : erro aleatório.

Realizou-se, então, o estudo da interação G x A, a partir da decomposição em parte complexa entre pares de ambientes, conforme descrito por Cruz e Castoldi (1991). Assim, a parte complexa foi obtida pela expressão:

$$C = \sqrt{(1 - r)^3} \sqrt{Q_1 Q_2}$$

Em que:

Q_1 e Q_2 correspondem aos quadrados médios dos genótipos nos ambientes 1 e 2, respectivamente;

R: correlação entre as médias dos genótipos nos dois ambientes.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa computacional genético-estatístico GENES (Cruz, 2016).

3 Resultados/discussão

A existência de variância genética é fator essencial em um programa de melhoramento genético, pois permite inferir sobre a possibilidade de seleção de genótipos. Através do estudo da Tabela 2, verificou-se a existência de variância genética para todos os caracteres analisados ao nível de 1% de significância pelo teste F, em todas as épocas de semeadura e nas duas safras avaliadas.

Os valores de CV% se apresentaram inferiores a 28% (Tabela 2) para todos os caracteres avaliados e em todos os experimentos realizados nesta pesquisa (safras 2023/24 e 2024/25), da mesma forma que o observado para o caráter agrônomo produtividade em soja conforme Yokomizo, Silva Neto e Arias (2018). Estes autores, ao estudarem a adaptabilidade e estabilidade de soja no cerrado Amapaense, destacaram que as características quantitativas com

a produtividade são muito afetadas pelo ambiente costumeiramente gerando valores de CV% altos, acima de 30%, porém aceitáveis.

Ao se tratar de herdabilidade, este é um parâmetro genético dependente das populações e genótipos avaliados, do ambiente da avaliação e da geração, muito útil ao melhorista, pois permite estimar o ganho de seleção. Conforme Falconer e Mackay (1996), estimativas acima de 70% são consideradas altas. Observou-se que, para os caracteres número de dias para maturação e altura da planta na maturação, as estimativas de h^2 foram nitidamente altas, ao passo que para produtividade de grãos, os valores situaram-se entre 50,34% a 74,78% (Tabela 2).

Já o coeficiente CVg/CVe permite analisar quando a situação estará propícia ao processo seletivo, especialmente se tais valores são superiores à unidade (Cruz, Regazzi e Carneiro, 2014). Para os caracteres relacionados ao ciclo (NDM) e altura (APM), o coeficiente variou de 1,06 a 3,14, enquanto para produtividade de grãos, as estimativas foram mais baixas, oscilando de 0,58 a 0,99 (Tabela 2).

Tabela 2 - Quadrados médios, coeficiente de variação e parâmetros genéticos para os caracteres agrônômicos avaliados NDM (número de dias para a maturação), APM (altura da planta na maturação) e PROD (produtividade) em progênies de soja, avaliados em 3 épocas de semeadura na safra 2023/2024 e em 2 épocas de semeadura na safra 2024/2025, no município de Buriti Alegre - GO.

Safr 2023/24 - Semeadura 30/11/2023				
Caracteres	QM	CV(%)	h^2 (%)	CVg/CVe
NDM	75,93**	1,36	93,74	3,14
APM	433,98**	10,75	79,441	1,14
PROD	4163,95**	23,02	74,78	0,99
Safr 2023/24 - Semeadura 20/12/2023				
Caracteres	QMG	CV(%)	h^2 (%)	CVg/CVe
NDM	24,03**	01,66	85,19	1,38
APM	399,74**	09,45	88,10	1,57
PROD	3815,26**	26,07	58,10	0,68
Safr 2023/24 - Semeadura 30/12/2023				
Caracteres	QMG	CV(%)	h^2 (%)	CVg/CVe
NDM	15,41**	1,69	77,56	1,07
APM	604,94**	10,72	88,99	1,64
PROD	3146,40**	27,97	50,34	0,58
Safr 2024/25 - Semeadura 10/12/2024				
Caracteres	QMG	CV(%)	h^2 (%)	CVg/CVe
NDM	164,52**	3,98	86,58	1,46

APM	504,42**	15,46	77,14	1,06
PROD (g/m)	13284,46**	26,29	65,08	0,78
Safrá 2024/25 - Semeadura 30/12/2024				
Caracteres	QMG	CV(%)	h ² (%)	CVg/CVe
NDM	62,98**	2,67	82,98	1,28
APM	383,24**	12,12	84,68	1,36
PROD	4106,18**	22,10	64,04	0,77

Fonte: autoria própria.

Nota: NDM: número de dias para a maturação; APM: altura da planta na maturação; PROD: produtividade de grãos (g/m); QMG: quadrado médio de genótipos; CV: coeficiente de variação; h²: herdabilidade; CVg/CVe: razão entre os coeficientes de variação genético e ambiental. **: são significativos ao nível de 1% de probabilidade para o teste de F.

Ao longo do processo de melhoramento de soja, são objetivados diferentes caracteres agrônômicos, entre os quais se destacam o ciclo total e a altura da planta. Em relação ao número de dias para maturação, verificou-se a formação de 5, 4, 2, 4, e 3 grupos respectivamente às semeaduras de 30/11/2023, 20/12/2023, 30/12/2023, 10/12/2024 e 30/12/2024 (Tabela 3). Os valores médios referentes a tabela 3 encontram-se no Anexo do capítulo 1 (Tabelas 3A, 3 B, 3C, 3D e 3E).

Tabela 3. Grupos e médias de caracteres agrônômicos em soja avaliados em 60 genótipos cultivados em diferentes épocas de semeadura e safras

Safrá 2023/24 - Semeadura 30/11/2023										
Caracteres	Grupo A		Grupo B		Grupo C		Grupo D		Grupo E	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
NDM (dias)	123,33	125	120,00	120,00	116,67	118,33	113,33	115,00	110,00	111,67
APM (cm)	90,00	113,33	65,00	88,33						
PROD (g par ⁻¹)	154,00	231,00	73,67	151						

Safrá 2023/24 - Semeadura 20/12/2023										
Caracteres	Grupo A		Grupo B		Grupo C		Grupo D		Grupo E	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
NDM (dias)	118,33	120,00	115,00	116,67	111,67	113,33	110	110		
APM (cm)	88,33	100,00	75,00	86,67	65	71,67	50,00	63,33		
PROD (g par ⁻¹)	157,00	219,33	38,00	153,33						

Safrá 2023/24 - Semeadura 30/12/2023										
Caracteres	Grupo A		Grupo B		Grupo C		Grupo D		Grupo E	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
NDM (dias)	110,00	115,00	105,33	108,67						
APM (cm)	88,33	100,00	76,67	86,67	63,33	73,33	43,33	60,00		

PROD (g par⁻¹) 145,33 223,33 76,00 140,33

Safra 2024/25 - Semeadura 10/12/2024

Caracteres	Grupo A		Grupo B		Grupo C		Grupo D		Grupo E	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
NDM (dias)	129,33	136,00	121,00	127,67	114,00	119,33	105,00	112,00		
APM (cm)	71,67	95,00	41,67	70,00						
PROD (g par ⁻¹)	238,00	382,67	65,67	225,33						

Safra 2024/25 - Semeadura 30/12/2024

Caracteres	Grupo A		Grupo B		Grupo C		Grupo D		Grupo E	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
NDM (dias)	129,33	134,33	124,33	127,67	114,33	122,67				
APM (cm)	66,67	96,67	56,67	65,00	36,67	55,00				
PROD (g par ⁻¹)	165,33	243,00	57,33	162,00						

Fonte: autoria própria.

Nota: NDM: número de dias para a maturação; APM: altura da planta na maturação; PROD: produtividade de grãos.

De acordo com Sedyama *et al.* (2015), a preferência dos programas de melhoramento genético de soja visa a obtenção de ciclos mais precoces, objetivando oportunizar ao produtor a obtenção de duas safras no período chuvoso da região Central do Brasil. Nesta perspectiva, foi possível identificar genótipos de ciclos mais precoces, cujas médias oscilaram entre 105 e 122 dias para os grupos de menores estimativas médias entre as datas de semeaduras analisadas (Tabela 3).

Em relação ao atraso na data de semeadura na safra 2023, observou-se uma redução do ciclo da cultura, cujas médias máximas foram respectivamente de 125, 120 e 115 dias respectivamente para as semeaduras 30/11/2023, 20/12/2023, 30/12/2023 (Tabela 3). Tal fato possivelmente ocorreu em razão da redução do fotoperíodo ocorrido a partir de 21/12 (solstício de verão), levando à ocorrência antecipada do fotoperíodo indutivo, o qual leva à indução mais precoce. Conforme Zanon *et al.* (2015), tal evento leva à redução do período vegetativo e do ciclo da cultura da soja. Por outro lado, na safra 2024/2025 esse fato não ocorreu, pois, as duas semeaduras ocorreram no mês de dezembro (Tabela 3).

Em relação à altura de planta na maturação observou-se a formação de 2 a 4 grupos (Tabela 3). Notou-se a tendência de redução na altura da planta para as semeaduras mais tardias nas duas safras estudadas. Os resultados obtidos nesta pesquisa estão em concordância com os encontrados por Rocha *et al.* (2012), que relatam uma diferença de ciclo entre os 32 genótipos

estudados em ambientes de baixa latitude no Estado do Piauí, devido a altas temperaturas e fotoperíodo que afetam o ciclo dos genótipos.

Em um zoneamento geográfico de adaptação de cultivares de soja realizado por Ferreira *et al.* (2025), foram relatadas para a regiões do Cerrado brasileiro, maturidades relativas (MR) das cultivares entre 7,0 e 8,4, representando uma melhor adaptação ao local. Nos últimos anos, a adoção de cultivares de soja mais precoces e adaptadas tem sido preferida na região central do Brasil, apesar de sua limitada adaptação a regiões de baixas latitudes.

Em relação à produtividade de grãos, observou-se a formação de dois grupos em todas as épocas e safras analisadas (Tabela 3). Contudo, as maiores produtividades foram observadas na semeadura de 10/12/2023.

Ao ser identificada na pesquisa condição favorável à seleção, foi praticado a que visa a redução do ciclo e incremento na altura e produtividade de grãos, cujas estimativas de ganho de seleção direta encontram-se na Tabela 4.

O maior valor de ganho de seleção ocorreu para produtividade, na semeadura de 30/11/2023 com o valor de 28,01% (Tabela 4). Já para altura da planta na maturação o maior valor de ganho de seleção ocorreu na semeadura de 30/12/2023.

Tabela 4. Estimativas de ganho de seleção (GS%) obtidas para os caracteres avaliados, pela seleção direta e indireta em progênies de soja em diferentes épocas de semeaduras.

Caracteres	Safr 2023/24 - Semeadura 30/11/2023		
	GS%		
	NDM	APM	PROD
NDM	-4,47	-3,37	-15,76
APM	1,58	14,02	4,26
PROD	3,82	3,77	28,01
Caracteres	Safr 2023/24 - Semeadura 20/12/2023		
	GS%		
	NDM	APM	PROD
NDM	-2,57	-12,31	-12,49
APM	1,68	17,88	0,39
PROD	0,68	-2,52	16,71
Caracteres	Safr 2023/24 - Semeadura 30/12/2023		
	GS%		
	NDM	APM	PROD
NDM	-2,05	-9,51	-4,78
APM	0,84	21,27	-0,35
PROD	0,38	2,44	14,97
Caracteres	Safr 2024/25 - Semeadura 10/12/2024		
	GS%		

	NDM	APM	PROD
NDM	-6,06	-13,7	-16,46
APM	4,49	18,76	13,57
PROD	5,11	12,71	18,87
Safr 2024/25 - Semeadura 30/12/2024			
Caracteres	NDM	APM	PROD
		GS%	
NDM	-3,2	-7,22	3,65
APM	1,84	19,89	14,02
PROD	2,07	14,37	15,86

Fonte: autoria própria.

Nota: NDM: número de dias para a maturação; APM: altura da planta na maturação; PROD: produtividade de grãos (g/m). Os valores destacados correspondem ao ganho de seleção direta do caráter.

Da mesma forma efetuada nesta pesquisa, de calcular estimativas de ganho de seleção adotando o critério de seleção direta e indireta e de Índice de seleção baseado em Soma de Ranks - Mulamba e Mock (1978), Costa *et al.* (2004) avaliaram o ganho genético por diferentes critérios de seleção em população segregante de soja. Foi concluído que tanto o critério de seleção direta e indireta quanto o critério de uso de índices baseado na soma de “ranks” de Mulamba e Mock (1978) foram promissores. Entretanto, relatam uma maior adequabilidade da seleção baseada neste último índice por registrar maiores ganhos totais entre os caracteres agronômicos avaliados.

As estimativas de ganho de seleção obtidas por meio do índice de Mulamba e Mock (1978), das progênies de soja, avaliadas em diferentes épocas de semeadura constam na Tabela 5.

Tabela 5. Estimativas de ganho de seleção obtidas pelo índice de Mulamba e Mock (1978), em diferentes épocas de semeaduras em progênies de soja.

Caracteres	Safr 2023/24 - Semeadura 30/11/2023
	GS %
NDM	1,58
APM	11,21
PROD	15,39
Ganho total	28,18
Caracteres	Safr 2023/24 - Semeadura 20/12/2023
	GS %
NDM	-0,12
APM	7,55
PROD	9,57

Ganho total	17,00
Safr 2023/24 - Semeadura 30/12/2023	
Caracteres	GS %
NDM	-0,40
APM	11,40
PROD	6,11
Ganho total	17,11
Safr 2024/25 - Semeadura 10/12/2024	
Caracteres	GS %
NDM	2,90
APM	16,29
PROD	14,5
Ganho total	33,69
Safr 2024/25 - Semeadura 30/12/2024	
Caracteres	GS %
NDM	-0,26
APM	12,89
PROD	13,6
Ganho total	26,23

Fonte: autoria própria.

Nota: NDM: número de dias para maturação; APM: altura da planta na maturação; PROD: produtividade de grãos (g/m).

Observando-se a Tabela 5, destaca-se os ganhos de seleção das progênies estudadas, de acordo com o índice de Mulamba e Mock (1978). O caráter produtividade apresentou o maior ganho de seleção no experimento de 30/11/2023, da mesma forma que o observado pelo cálculo de seleção direta e indireta. No caso da APM, pelo método de seleção direta e indireta (Tabela 4), o maior ganho se deu no experimento de 30/12/2023, enquanto pelo índice o maior valor de ganho de seleção ocorre no experimento de 10/12/2024 (Tabela 5).

De acordo com os resultados de pesquisa sobre data de semeadura de soja em Mato Grosso, Zhang *et al.* (2021) relatam a necessidade de uma compreensão mais realista sobre o comportamento do plantio e suas possíveis trajetórias futuras, embora diversos estudos ressaltarem o potencial do ajuste das datas de semeadura como uma estratégia de adaptação ao encurtamento da estação chuvosa. Pesquisas que simulam datas ideais de semeadura visando maximizar a produtividade em cenários de mudanças climáticas podem, por vezes, propor períodos inviáveis ou que dificultem a adoção de sistemas de cultivo intensivo, safra de verão e segunda safra.

Um dos principais desafios no melhoramento de plantas é a ocorrência de interação de genótipos por ambientes, cujas dificuldades para o processo seletivo apenas aumentam na recomendação de cultivares (Cruz, Regazzi e Carneiro, 2014). Por esse motivo, foram realizadas análises de variância conjunta com uma ocorrência de interação G x A significativa ao nível de 1% pelo teste F, constantes na Tabela 6. Observou-se que os efeitos de genótipos e ambientes (safras e épocas de semeadura) também foram relevantes.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância conjunta para caracteres agrônômicos em progênes de soja em diferentes épocas de semeaduras.

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		NDM	APM	PROD
Bloco/Ambiente	10	39,97	739,25	11373,42
Genótipo (G)	59	222,35**	1765,47**	13541,29**
Ambiente (A)	4	4157,64**	15078,01**	442452,91**
GxA	150	47,40**	140,22**	4854,52**
Resíduo	333	14,98	75,46	2887,12
Média		115,79	73,91	173,64
CV(%)		3,34	11,76	30,94
h ² (%)		93,26	95,73	78,68

Fonte: autoria própria.

Nota: NDM: número de dias para maturação (n°); APM: altura da planta na maturação (cm); PROD: produtividade de grãos (g/m). ** Significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Quanto aos valores médios para número de dias para a maturação, o valor verificado foi de 115,79 dias. A altura da planta na maturação teve média de 73,91 cm e a produtividade média foi de 173,64 g. Os valores de herdabilidade de número de dias para a maturação e altura da planta na maturação ficaram acima de 90%, enquanto o caractere produtividade apresentou valor de herdabilidade acima de 75%. Notou-se pela Tabela 6 a existência de variância genética ao nível de 1% de significância pelo teste F, cuja magnitude foi expressiva, em razão das elevadas herdabilidades observadas em todos os caracteres.

Os valores de herdabilidade em soja são variáveis, oscilando desde baixas a altas estimativas, a depender da origem genética dos genótipos, do ambiente de avaliação e da geração. Bizari *et al.* (2017), ao avaliarem genótipos de soja em geração F5, obtiveram herdabilidade de 71,31% para produção de grão. Por outro lado, Pereira *et al.* (2019) identificaram herdabilidade para produção de grãos oscilando de 11 % a 70%

De acordo com Pellegrin *et al.* (2017), a estimativa da herdabilidade possibilita ao melhorista prever o êxito da seleção, orientando o uso de recursos financeiros, mão de obra e tempo.

Com intuito de analisar o tipo de interação GXA predominante, obteve-se a porcentagem de parte complexa da interação pelo método de Cruz e Castoldi (1991). Para interpretação, deve-se analisar os pares de ambientes, ou seja, a interação é dita do tipo complexa quanto a porcentagem de decomposição em parte complexa superar o valor de 50% (Cruz, Regazzi e Carneiro, 2014). A interação significativa entre genótipo e ambiente ($G \times A$) demonstra que os genótipos apresentaram comportamento diferencial conforme as condições ambientais. Esse resultado é de extrema relevância, pois evidencia a adaptação específica de alguns materiais, enquanto outros se destacam pela estabilidade de produção.

Já através da Tabela 7 foi possível verificar que, entre os 10 pares de ambientes para o número de dias para maturação, apenas 2 superaram 50%. Logo, a interação é do tipo simples. Por outro lado, para os caracteres altura de planta na maturação e produtividade de grãos 8 e 9 pares respectivamente tiveram valores acima de 50% evidenciando a natureza complexa da interação GXA.

Tabela 7 – Porcentagem da parte complexa da interação GXA pelo método de Cruz e Castoldi (1991) em caracteres agrônômicos de soja avaliados em diferentes épocas de semeadura e safras

SEMEADURAS	NDM		APM		PROD	
	% C	CLASSIFICAÇÃO	% C	CLASSIFICAÇÃO	% C	CLASSIFICAÇÃO
30/11/2023 x	27,71	Interação	54,74	Interação	78,94	Interação
20/12/2023		SIMPLES		COMPLEXA		COMPLEXA
30/11/2023 x	38,87	Interação	46,37	Interação	89,94	Interação
30/12/2023		SIMPLES		SIMPLES		COMPLEXA
30/11/2023 x	43,50	Interação	51,46	Interação	54,26	Interação
10/12/2024		SIMPLES		COMPLEXA		COMPLEXA
30/11/2023 x	58,93	Interação	55,59	Interação	85,46	Interação
30/12/2024		COMPLEXA		COMPLEXA		COMPLEXA
20/12/2023 x	62,96	Interação	52,24	Interação	86,52	Interação
30/12/2023		COMPLEXA		COMPLEXA		COMPLEXA
20/12/2023 x	11,78	Interação	56,50	Interação	50,96	Interação
10/12/2024		SIMPLES		COMPLEXA		COMPLEXA
20/12/2023 x	34,86	Interação	53,40	Interação	85,48	Interação
30/12/2024		SIMPLES		COMPLEXA		COMPLEXA
30/12/2023 x	22,17	Interação	52,98	Interação	58,90	Interação
10/12/2024		SIMPLES		COMPLEXA		COMPLEXA

30/12/2023 x	44,09	Interação	55,46	Interação	84,79	Interação
30/12/2024		SIMPLES		COMPLEXA		COMPLEXA
10/12/2024 x	37,47	Interação	48,76	Interação	49,54	Interação
30/12/2024		SIMPLES		SIMPLES		SIMPLES

Fonte: autoria própria.

Nota: NDM: número de dias para maturação (n°); APM: altura da planta na maturação (cm); PROD: produtividade de grãos (g/m). %C >50%: interação complexa; %C <50%: interação simples.

Destaca-se, observando-se a Tabela 7, que a ocorrência de interação simples, no caso de diferença relativa entre os genótipos, se mantém constante nos diferentes ambientes. Em outras palavras, o melhor genótipo em um ambiente continua sendo o melhor em outro (a ordem de desempenho não muda). A mudança é observada apenas na magnitude do desempenho (um rende mais ou menos dependendo do ambiente, mas sem trocar posições no ranking). A maior ocorrência de interação simples foi observada para o caractere número de dias para a maturação. Para os caracteres APM e PROD, predominou-se a interação complexa, a qual ocorre quando há mudança na classificação relativa dos genótipos entre ambientes. Ou seja, um genótipo melhor em um ambiente pode não ser em outro. Isso torna a seleção mais difícil, porque a recomendação depende do ambiente específico.

Carvalho *et al.* (2013) avaliaram a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Tocantins e concluíram, por meio de análise de variância conjunta, sobre os efeitos significativos tanto dos ambientes quanto da interação genótipo x ambiente, com predominância de interação do tipo complexa, tal como o observado nesta pesquisa.

Considerando a ocorrência da interação GXA, procedeu-se a seleção dos genótipos a partir da média dos genótipos em todos os ambientes. Como no melhoramento almeja-se melhorar dois ou mais caracteres simultaneamente, optou-se pelo critério de índice de seleção baseado em Soma de Ranks - Mulamba e Mock (1978), utilizado com sucesso na cultura da soja.

Ao observar a Tabela 8, verificou-se a ocorrência de ganhos positivos e superiores a 10% para altura de planta na maturação e produtividade de grãos. Por outro lado, ainda se constatou um ganho positivo para o ciclo total, mais uma vez evidenciando a dificuldade de selecionar genótipos superiores e ainda de ciclos precoce. Não obstante, cabe analisar as médias dos genótipos selecionados, uma vez que existe uma faixa ideal de ciclo.

De acordo com Milioli (2021), as taxas de ganho de seleção em soja obtidos pelos programas de melhoramento genético ao longo dos últimos anos para a região Centro-oeste, para o conjunto completo de cultivares estudados, variaram de 0,47 a 0,77% ao ano.

Na Tabela 8, consta o índice de seleção baseado em Soma de Ranks – Mulamba e Mock (1978) da análise conjunta dos caracteres avaliados das progênes de soja estudadas nesta pesquisa.

TABELA 8. Índice de seleção baseado em Soma de Ranks - Mulamba e Mock (1978) da análise conjunta dos caracteres NDM, APM e PROD de progênes de soja, em diferentes épocas de semeadura.

Caracteres	GS %
NDM	0,93
APM	13,84
PROD	10,08
Ganho total	24,85

Fonte: autoria própria.

Nota: NDM: número de dias para maturação; APM: altura da planta na maturação; PROD: produtividade de grãos (g/m).

Conforme análise conjunta da seleção direta e indireta para o caráter agrônômico NDM, as progênes selecionadas foram: UFUS 13, UFUS 15, UFUS 24, UFUS 11, UFUS 7, UFUS 21, UFUS 20, UFUS 22 e UFUS 23. Já para APM as progênes selecionadas foram: UFUS 30, UFUS 38, UFUS 18, UFUS 31, UFUS 49, UFUS 43, UFUS 36, UFUS 17, UFUS 33, UFUS 48, UFUS 35, UFUS 42, UFUS 14 e UFUS 37. Enquanto para PROD as progênes selecionadas: UFUS 51, UFUS 43, UFUS 52, UFUS 30, UFUS 38, UFUS 9, UFUS 49, UFUS 31, UFUS 44, UFUS 1 e UFUS 42.

Quando a seleção foi feita pelo Índice de Soma de Ranks de Mulamba e Mock (1978), as progênes selecionadas foram: UFUS 9, UFUS 18, UFUS 38, UFUS 36, UFUS 31, UFUS 30, UFUS 43, UFUS 42, UFUS 35, UFUS 49, UFUS 7 e UFUS 23.

Pode-se destacar observando a Tabela 8, que o Índice de Soma de Ranks de Mulamba e Mock (1978) aplicado a caracteres agrônômicos como produtividade, altura e ciclo, permite selecionar os genótipos com melhor desempenho médio equilibrado. Tal fato gera um ganho de seleção mais balanceado, evitando que a melhora em um caráter venha acompanhada de perdas grandes em outros. Assim, o índice busca estabilidade e adaptação ampla dos genótipos, ao invés de ganhos extremos e isolados.

4 Conclusão

De acordo com as condições de realização desta pesquisa, foi possível notar uma redução do ciclo da cultura na safra 2023/2024 bem como a existência de 5 grupos de maturidade relativa dos genótipos estudados, variando de 5, 4, 2, 4, e 3 grupos para as

semeaduras de 30/11/2023, 20/12/2023, 30/12/2023, 10/12/2024 e 30/12/2024 respectivamente. Obteve-se maior ganho de seleção para produtividade, com o valor de 28,01%, ocorrido na semeadura de 30/11/2023 enquanto para altura da planta na maturação o maior valor de ganho de seleção, 21,27%, ocorreu na semeadura de 30/12/2023.

O estudo de herdabilidade revelou uma superação do valor de herdabilidade para produtividade de grãos no quesito de caracteres agronômicos número de dias para maturação e altura da planta na maturação. Notou-se presença de interação genótipo ambiente simples para número de dias para a maturação, enquanto de interação genótipo ambiente complexa para altura da planta na maturação e produtividade de grãos.

Ao final, concluiu-se que as melhores linhagens selecionadas através da seleção direta, seleção indireta e índices de soma de ranks de Mulamba e Mock (1978) foram UFUS 7, UFUS 9, UFUS 23, UFUS 30, UFUS 36, UFUS 38, UFUS 42 e UFUS 49.

5 Referências

ALMEIDA, R. D.; SILVA, L. A.; COSTA, M. S. Avanços e desafios no melhoramento genético da soja no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Ponta Grossa, v. 17, n. 4, p. 102–114, 2022. Disponível em:

<http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/issue/view/66>. Acesso em: 01 aug. 2025

ALVES, A. K. S. **Fenotipagem de alto rendimento no melhoramento da soja**. 2024. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2024. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/6af31afd-ae8a-413c-9d9c-70b7a6e1f755/content>. Acesso em: 01 mar. 2025.

ALVES, A. K. S.; ARAUJO, M. S.; CHAVES, S. F. S.; DIAS, L. D. S.; CORREDO, L. P.; PESSOA, G. G. F. A.; BEZERRA, A. High throughput phenotyping in soybean breeding using RGB image vegetation indices based on drone. **Scientific Reports**. London, v. 14, 32055, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83807-4>. Disponível em: [nature.com/scientific reports](https://www.nature.com/scientificreports). Acesso em: 12 out. 2025.

ANDRADE, Andréa Carla Bastos. **Estratégias de seleção de genótipos de soja por meio de modelos mistos e abordagens multivariadas**. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/4b1e37f1-a002-468f-95a7-ee0065beccal/content>. Acesso em: 30 nov. 2024.

BIZARI, E.H.; VAL, B. H. P.; PEREIRA, E. M.; DI MAURO, A. O.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H. Selection indices for agronomic traits in segregating populations of soybean. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 1, p. 110-117, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/z3hyMyygmLPmQCMJn6s7DJR/?format=html&lang=en>. Acesso em: 30 nov. 2024.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 8. ed. São Paulo: Editora de Textos, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Agrostat – Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. Brasília, DF: MAPA, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>. Acesso em: 11 out. 2025.

CARMO, E. L. do; BRAZ, G. B. P.; SIMON, G. A.; SILVA, A. G. da; ROCHA, A. G. C. Desempenho agrônômico da soja cultivada em diferentes épocas e distribuição de plantas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 1, p. 61-69, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711712018061>. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/9684/pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.

CARVALHO, E. V. de; PELUZIO, J. M.; SANTOS, W. F. dos; AFFÉRI, F. S.; DOTTO, M. A. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Tocantins. **Revista Agro@mbiente On-line**. Boa Vista, RR, v. 7, n. 2, p. 162-169, 2013. DOI: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i2.1235>. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/view/1235>. Acesso em: 30 nov. 2024.

CLASSIFICAÇÃO climática de Köppen para os municípios brasileiros. [2025]. Disponível em: <https://koppenbrasil.github.io/>. Acesso em: 11 out. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2024/25: 12º Levantamento**. Brasília, DF: CONAB, 2025. (Safra 2024/25, v. 12, n. 2). Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br>. Acesso em: 10 out. 2025.

COSTA, M. M.; DI MAURO, A. O.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; ARRIEL, N. H. C.; BÁRBARO, I. M.; MUNIZ, F. R. S. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 11, p.1095-1102, nov. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/g3FZLSyHd9ZxzBGdw5TQSJf/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 30 out. 2024.

CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.32629>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/sLvDYF5MYv9kWR5MKgxb6sL/?lang=en>. Acesso em: 15 abr. 2025.

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

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. v. 2.

CRUZ, T. V.; PEIXOTO, C. P.; MARTINS, M. C.; LEDO, C. A. S. Efeitos da época de semeadura sobre a composição química e a produtividade de grãos de diversas cultivares de soja no oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**. Campina Grande, v.14, n.2, p. 63-71, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/879534/1/oleofibrosID27507.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

DHONDT, S.; WUYTS, N.; INZÉ, D. Cell to whole-plant phenotyping: the best is yet to come. **Trends in Plant Science**: a cell press journal, Maryland Heights, v. 18, n. 8, p. 428-439. Aug. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.04.008> Disponível em: [https://www.cell.com/trends/plant-science/abstract/S1360-1385\(13\)00081-2?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS1360138513000812%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/trends/plant-science/abstract/S1360-1385(13)00081-2?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS1360138513000812%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 24 jun. 2025.

EMBRAPA. **Região Centro-Oeste**. Brasília, DF: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/contando-ciencia/regiao-centro-oeste>. Acesso em: 24 jun. 2025.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4. ed. New York: Longman, 1996.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of Soybean Development**. Ames: Iowa State University, 1977. (Special Report, 80). Disponível em: <https://dr.lib.iastate.edu/bitstreams/13bd0d8f-66ff-4d0e-a0e3-a70c2c47f6f3/download>. Acesso em: 1 mar. 2024.

FERREIRA, L.U.; MUNIZ, F. R. S.; STECKLING, C.; RESENDE, R. T.; TREVISAN, B.A.; DUARTE, J. B. **Geographical zoning of soybean yield adaptation according to relative maturity in Brazil**. 2025. Scielo Preprint. DOI: <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.11925>. Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/11925/21822>. Acesso em: 10 out. 2025.

FONSECA, R. L.; SOUZA, C. M.; MARTINS, D. P. Fenotipagem de precisão e seleção assistida em programas de melhoramento de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 51, e67921, 2021.

Artigo de revista

GAZZONI, D. L. Agronegócio Brasileiro: 50 anos de sucesso. **Revista de Política Agrícola**. Brasília, DF, ano 32, n. 2, p. 138-145, maio/jun. 2023. Disponível em: <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1919/pdf>. Acesso em: 10 out. 2025.

HAMAWAKI, O. T., SOUSA, L. B., ROMANATO, F. N., NOGUEIRA, A. P. O., SANTOS JÚNIOR, C. D.; POLIZEL, A. C. 2012. Genetic parameters and variability in soybean genotypes. **Comunicata Scientiae**. Bom Jesus, PI, v.3, n.2, p.76-83, 2012. Disponível em: www.ufpi.br/comunicata. Acesso em: 10 jan. 2025.

HAZEL, L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, Baltimore, v.28, p. 476-490, 1943. DOI: <https://doi.org/10.1093/genetics/28.6.476>. Disponível em: <https://academic.oup.com/genetics/article-abstract/28/6/476/6033171?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LEPSCH, Igo F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

MILIOLI, A. L. **Ganho genético em caracteres agronômicos, fenológicos e bioquímicos de soja no Brasil**. 2021. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/25516/1/ganhogeneticosojabrasil.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2025.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics And Cytology**, Cairo, v. 7, p. 40–51, 1978.

NASCIMENTO, D. T. F. Caracterização ambiental do Estado de Goiás e Distrito Federal como insumo à gestão dos recursos hídricos. **Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais**. Iporá, v. 6, n. 2, p.34-50, 2017.

OLIVEIRA, A. B. *et al.* (ed.). **Soja: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1118408/2/500PERGUNTASSojaed012019.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2024.

PEIXOTO, J.V. M. **Fenotipagem por imagem, estimativas de parâmetros genéticos e índices de seleção em alface biofortificada**. 2020. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.419>. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/29749/1/FenotipagemPorImagem.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.

PELEGRIN, A. J.; CARVALHO, I. R.; NUNES, A. C. P.; DEMARI, G. H.; SZARESKEI, V. J.; BARBOSA, M. H.; ROSA, T. C.; FERRARI, M.; NARDINO, M.; SANTOS, O. P. S.; RESENDE, M. D. V.; SOUZA, V. Q.; OLIVEIRA, A. C.; MAIA, L. C. Adaptability, Stability and Multivariate Selection by Mixed Models. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, n. 13, 2017. DOI: 10.4236/ajps.2017.813224. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/ajps>. Acesso em: 10 mar. 2025.

PEREIRA, F. A.; VELLO, N. A.; ROCHA, G. A. F. Identification of potential soybean crosses for grain yield in the F2 generation. **Revista Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 286-295, 2019. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i45.7413>. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/7413>. Acesso em: 10 mar. 2025.

PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selectec índices. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 49, p. 803-804, 1969. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps69-137>. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/epdf/10.4141/cjps69-137>. Acesso em: 10 set. 2025.

ROCHA, R. S.; SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C. Desempenho agrônomo de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude em Teresina-PI. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 154-162, mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000100019>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/QtfP9W4BbRkrTz5F4WRj5sc/?lang=pt>. Acesso em: 10 out. 2025.

SANTANA, C. T. C.; SANCHES, I. D.; CALDAS, M. C. ADAMI, M. A Method for Estimating Soybean Sowing, Beginning Seed, and Harvesting Dates in Brazil Using NDVI-MODIS Data. **Remote Sensing**, Basel, 2024, 16 (14), 2520. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16142520>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/14/2520>. Acesso em: 10 jul. 2025.

SEDIYAMA, T.; MATSUO, E.; OLIVEIRA, R. C. T.; GLASENAPP, J. S. Características agrônômicas de cultivares. In: SEDIYAMA, T. (ed.). **Melhoramento genético da soja**. Londrina: Mecenasa, 2015. p. 73-82. Disponível em: <https://www.editoramecenasa.com.br/wp-content/uploads/2017/06/sumario-melhoramento-genetico-da-soja.pdf>. Acesso em 05 jul. 2025.

SEIXAS, C. D. S. *et al.* (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Sistemas de Produção de Soja, n. 17). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123928/1/SP-17-2020-online-1.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T. **Soja: do plantio à colheita**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**, London, v.7, p. 240-250, 1936. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x>. Disponível em: https://discovered.ed.ac.uk/discovery/fulldisplay?docid=cdi_proquest_miscellaneous_869574_488&context=PC&vid=44UOE_INST:44UOE_VU2&lang=en&search_scope=UoE&adaptor=Primo%20Central&query=null,Includes%20indexes,AND&facet=citing,exact,cdi_FETCH-LOGICAL-c294t-b4dde0f28ae9c02e02ad14ac943d6ae05707c013ca8a21d8920ef8a6826def000&offset=0. Acesso em: 8 set. 2025.

SOUSA, C. A. F. *et al.* Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, p. 660-672, 2015. Número especial do IV SMUD. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p660-672>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/233636>. Acesso em: 30 jun. 2025.

TECNOLOGIAS de produção de soja: Região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. (Sistemas de Produção, n. 16). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/975595/1/SP16online.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2025.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, Madison, v. 18, p. 375-393, 1962. DOI: <https://doi.org/10.2307/2527479>. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/THE-EVALUATION-OF-A-SELECTION-INDEX1-Williams/f5f8d4c577131a8f1f96840ee24ce6b1b27c7b9c>. Acesso em: 10 set. 2025.

ZANON, A. J. *et al.* Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 4, p. 400-411, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0043>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/K4nQRyVDfqvys83YWKn6XLv/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 15 jun. 2025.

ZHANG, M.; Abrahao, G.; COHN, A.; CAMPOLO, J.; THOMPSON, S. A MODIS-based scalable remote sensing method to estimate sowing and harvest dates of soybean crops in Mato Grosso, Brazil. **Heliyon**: a cell press journal, v. 7, n. 7, e07436, July. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07436>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021015395>. Acesso em: 15 jun. 2025.

YOKOMIZO, G. K. I.; SILVA NETO, S. P. DA; ARIAS, C. A. A. Estabilidade e adaptabilidade de cultivares comerciais de soja no cerrado amapaense. **Scientia Rural**, Ponta Grossa, n. 17, 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1108426/1/CPAFAP2019Estabilidadeadaptabilidadedecultivarescomerciais.pdf>. Acesso em: 20 set. 2025.

APÊNCIDE A

Tabelas extras do capítulo 1.

Tabela 3A. Valores de máximos e mínimos das médias de caracteres agronômicos (NDM, APM e PROD) dos genótipos de sojas semeados em 30/11/2023 (ambiente 1), por meio do teste comparativo de médias Scott-Knott.

GENÓTIPOS	IDENTIFICAÇÃO	NDM (dias)		APM (cm)		PROD (g/m)	
1	(6901 x TMG 801) X TMG 801	120.00	b	85.00	b	190.67	a
2	(6901 x TMG 801) X TMG 801	116.67	e	65.00	b	132.00	b
3	(6901 x TMG 801) X TMG 801	111.67	e	65.00	b	163.00	a
4	GUEPARDO	110.00	e	83.33	b	135.67	b
5	(6901 x TMG 801) X TMG 801	115.00	d	86.67	b	111.67	b
6	(6901 x TMG 801) X TMG 801	120.00	b	71.67	b	111.00	b
7	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	110.00	e	83.33	b	135.67	b
8	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	111.67	e	78.33	b	102.33	b
9	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	115.00	d	100.00	a	117.67	b
10	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	113.33	d	76.67	b	119.67	b
11	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	110.00	e	90.00	a	102.33	b
12	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	110.00	e	81.67	b	120.00	b
13	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	110.00	e	75.00	b	103.67	b
14	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	111.67	e	96.67	a	76.00	b
15	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	110.00	e	88.33	b	117.33	b
16	STINE77AEA40	115.00	d	81.67	b	161.00	a

17	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	110.00	e	110.00	a	94.00	b
18	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	115.00	d	101.67	a	110.00	b
19	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.00	e	70.00	b	112.00	b
20	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.00	e	96.67	a	89.00	b
21	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.00	e	86.67	b	115.00	b
22	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.00	e	65.00	b	97.33	b
23	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.00	e	83.33	b	122.33	b
24	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.00	e	68.33	b	132.67	b
25	BRSGO 7560	110.00	e	80.00	b	73.67	b
26	BONUS	123.33	a	93.33	a	125.33	b
27	TMG 801	125.00	a	81.67	b	135.00	b
28	TORMENTA	116.67	c	93.33	a	118.00	b
29	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	115.00	d	85.00	b	120.00	b
30	UFUS6901/TMG801-RC1P2	123.33	a	113.33	b	151.00	b
31	BRS7380RR/TMG1179RR	120.00	b	106.67	a	197.33	a
32	UFUS6901	110.00	e	100.00	a	115.33	b
33	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	115.00	d	103.33	a	149.33	b
34	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	118.33	c	85.00	b	231.00	a
35	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	111.67	e	98.33	a	127.33	b
36	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	118.33	c	103.33	a	147.00	b
37	BRS7380RR/TMG1179RR	115.00	d	91.67	a	160.67	a
38	BRS7380RR/TMG1179RR	120.00	b	101.67	a	230.33	a
39	TMG1179RR	116.67	c	78.33	b	104.67	b
40	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	125.00	a	71.67	b	175.00	b
41	BRS 284	110.00	e	80.00	b	117.67	b
42	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P1	110.00	e	93.33	a	148.67	b
43	TMG801/BMX_DESAFIO	125.00	a	106.67	a	191.33	a
44	TMG801/BMX_DESAFIO	118.33	c	100.00	a	194.67	a
45	BRS7380RR/TMG1179RR	118.33	c	78.33	b	160.67	a
46	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	120.00	b	91.67	a	211.67	a
47	BRS 7580	110.00	e	96.67	a	167.33	a
48	TMG801/BMX_DESAFIO	120.00	b	101.67	a	154.00	a
49	TMG801/BMX_DESAFIO	125.00	a	106.67	a	176.00	a
50	LG 60174 IPRO	118.33	c	81.67	b	142.67	b
51	UFUS6901/TMG801-RC1P2	125.00	a	91.67	a	206.00	a
52	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	120.00	b	85.00	b	199.00	a
53	OLIMPO	120.00	b	95.00	a	184.67	a
54	HO COARI I 2X	120.00	e	91.67	a	183.67	a
55	HO MUTUM I 2X	118.33	c	96.67	a	158.00	a
56	HO PRATA I 2X	116.67	c	85.00	b	107.67	b
57	HO GUAPO I 2X	115.00	d	81.67	b	111.00	b
58	HO CORUMBA IPRO	110.00	e	80.00	b	136.33	b
59	HO APORE IPRO	111.67	e	70.00	b	130.33	b
60	HO IGUAÇU IPRO	110.00	e	80.00	b	129.67	b

Fonte: autoria própria.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 3B. Valores de máximos e mínimos das médias de caracteres agrônômicos (NDM, APM e PROD) dos genótipos de soja semeados em 20/12/2023 (ambiente 2), por meio do teste comparativo de médias Scott-Knott.

GENOTIPOS	IDENTIFICAÇÃO	NDM		APM		PROD	
1	(6901 x TMG 801) X TMG 801	115.00	b	56.67	d	151.00	b
2	(6901 x TMG 801) X TMG 801	110.00	d	50.00	d	115.00	b
3	(6901 x TMG 801) X TMG 801	111.67	c	65.00	c	163.00	a
4	GUEPARDO	110.00	d	66.67	c	137.67	b
5	(6901 x TMG 801) X TMG 801	113.33	c	61.67	d	213.33	a
6	(6901 x TMG 801) X TMG 801	113.33	c	68.33	c	166.67	a
7	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	110.00	d	66.67	c	137.67	b
8	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	115.00	b	75.00	b	150.67	b
9	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	115.00	b	75.00	b	219.33	a
10	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	113.33	c	83.33	b	187.00	a
11	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	111.67	c	70.00	c	113.67	b
12	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	113.33	c	80.00	b	128.00	b
13	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	110.00	d	60.00	d	38.00	b
14	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	112.33	c	80.00	b	140.00	b
15	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	110.00	d	60.00	d	108.33	b
16	STINE77AEA40	111.67	c	65.00	c	199.33	a
17	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	113.33	c	85.00	b	107.00	b
18	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	113.33	c	93.33	a	138.33	b
19	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.00	d	66.67	c	110.67	b
20	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	111.67	c	68.33	c	141.00	b
21	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.00	d	50.00	d	118.00	b
22	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.00	d	60.00	d	188.33	a
23	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	111.67	c	88.33	a	203.33	a
24	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.00	d	51.67	d	147.33	b
25	BRSGO 7560	110.00	d	80.00	b	73.67	b
26	BONUS	115.00	b	70.00	c	138.00	b
27	TMG 801	115.00	b	66.67	c	206.33	a
28	TORMENTA	111.67	c	70.00	c	148.33	b
29	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	113.33	c	76.67	b	177.00	a
30	UFUS6901/TMG801-RC1P2	120.00	a	100.00	a	162.33	a
31	BRS7380RR/TMG1179RR	116.67	b	91.67	c	158.00	a
32	UFUS6901	111.67	c	93.33	a	168.00	a
33	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	115.00	b	81.67	b	147.33	b
34	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	115.00	b	70.00	c	157.00	a
35	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	113.33	c	81.67	b	132.33	b
36	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	115.00	b	81.67	b	164.00	a
37	BRS7380RR/TMG1179RR	113.33	c	80.00	b	132.00	b
38	BRS7380RR/TMG1179RR	116.67	b	86.67	a	153.33	b

39	TMG1179RR	113.33	c	66.67	c	203.67	a
40	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	116.67	b	63.33	c	203.33	a
41	BRS 284	110.00	d	80.00	b	117.67	b
42	UFUS6901/BRS7380-RC1P1	115.00	b	83.33	b	174.33	a
43	TMG801/BMX_DESAFIO	118.33	a	88.33	a	179.33	a
44	TMG801/BMX_DESAFIO	115.00	b	78.33	b	187.00	a
45	BRS7380RR/TMG1179RR	113.33	c	63.33	c	149.67	b
46	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	115.00	b	61.67	d	179.67	a
47	BRS 7580	111.67	c	68.33	c	159.33	a
48	TMG801/BMX_DESAFIO	120.00	a	90.00	a	145.67	b
49	TMG801/BMX_DESAFIO	120.00	a	85.00	b	151.33	b
50	LG 60174 IPRO	110.00	d	70.00	c	124.33	b
51	UFUS6901/TMG801-RC1P2	116.67	b	71.67	c	181.33	a
52	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	118.33	a	66.67	c	206.33	a
53	OLIMPO	113.33	c	75.00	b	180.67	a
54	HO COARI I 2X	115.00	b	78.33	b	167.33	a
55	HO MUTUM I 2X	116.67	b	80.00	b	202.33	a
56	HO PRATA I 2X	116.67	b	85.00	b	107.67	b
57	HO GUAPO I 2X	113.33	c	66.67	c	149.33	b
58	HO CORUMBA IPRO	110.00	d	61.67	d	166.00	a
59	HO APORE IPRO	110.00	d	60.00	d	122.00	b
60	HO IGUAÇU IPRO	110.00	d	58.33	d	100.67	b

Fonte: autoria própria.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 3C. Valores de máximos e mínimos das médias de caracteres agrônômicos (NDM, APM e PROD) dos genótipos de soja semeados em 30/12/2023 (ambiente 3), por meio do teste comparativo de médias Scott-Knott.

GENOTIPOS	IDENTIFICAÇÃO	NDM		APM		PROD	
1	(6901 x TMG 801) X TMG 801	112.00	a	65.00	c	214.67	a
2	(6901 x TMG 801) X TMG 801	105.33	b	43.33	d	118.67	a
3	(6901 x TMG 801) X TMG 801	107.00	b	68.33	c	112.67	a
4	GUEPARDO	110.33	a	65.00	c	223.33	a
5	(6901 x TMG 801) X TMG 801	115.00	a	86.67	b	111.67	a
6	(6901 x TMG 801) X TMG 801	107.00	b	50.00	d	107.00	a
7	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	110.33	a	65.00	c	223.33	a
8	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	107.00	b	76.67	b	176.67	a
9	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	107.00	b	70.00	c	136.00	a
10	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	107.00	b	85.00	b	129.00	a
11	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	107.00	b	60.00	d	79.00	a
12	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	107.00	b	70.00	c	120.33	a
13	(6901 X BRS7380 7560) X UFUS 6901	107.00	b	60.00	d	154.00	a
14	(6901 X BRS7380 7560) X UFUS 6901	111.67	a	96.67	a	76.00	a
15	(6901 X BRS7380 7560) X UFUS 6901	107.00	b	80.00	b	137.00	a
16	STINE77AEA40	108.67	b	73.33	c	156.67	a

17	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	110.33	a	91.67	a	87.33	a
18	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	110.33	a	91.67	a	176.00	a
19	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.33	a	56.67	d	117.00	a
20	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	107.00	b	70.00	c	167.00	a
21	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.00	a	86.67	b	115.00	a
22	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.33	a	56.67	d	140.00	a
23	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	108.67	b	93.33	a	158.00	a
24	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	107.00	b	56.67	d	119.67	a
25	BRSGO 7560	107.00	b	63.33	c	100.67	a
26	BONUS	107.00	b	73.33	c	120.67	a
27	TMG 801	112.00	a	76.67	b	194.00	a
28	TORMENTA	110.33	a	78.33	b	162.33	a
29	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	112.00	a	80.00	b	162.00	a
30	UFUS6901/TMG801-RC1P2	112.00	a	96.67	a	173.00	a
31	BRS7380RR/TMG1179RR	112.00	a	100.00	a	147.00	a
32	UFUS6901	107.00	b	93.33	a	140.00	a
33	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	110.33	a	91.67	a	98.67	a
34	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	112.00	a	78.33	b	118.67	a
35	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	110.33	a	93.33	a	133.00	a
36	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	112.00	a	86.67	b	127.67	a
37	BRS7380RR/TMG1179RR	112.00	a	95.00	a	177.33	a
38	BRS7380RR/TMG1179RR	112.00	a	98.33	a	155.00	a
39	TMG1179RR	112.00	a	71.67	c	139.33	a
40	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	112.00	a	68.33	c	145.33	a
41	BRS 284	107.00	b	65.00	c	104.00	a
42	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P1	112.00	a	95.00	a	148.67	a
43	TMG801/BMX_DESAFIO	112.00	a	95.00	a	133.00	a
44	TMG801/BMX_DESAFIO	112.00	a	93.33	a	154.33	a
45	BRS7380RR/TMG1179RR	110.33	a	66.67	c	146.00	a
46	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	112.00	a	78.33	b	135.67	a
47	BRS 7580	108.67	b	66.67	c	159.33	a
48	TMG801/BMX_DESAFIO	112.00	a	88.33	a	108.67	a
49	TMG801/BMX_DESAFIO	112.00	a	90.00	a	147.33	a
50	LG 60174 IPRO	110.33	a	71.67	c	140.33	a
51	UFUS6901/TMG801-RC1P2	112.00	a	83.33	b	205.00	a
52	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	112.00	a	71.67	c	148.00	a
53	OLIMPO	112.00	a	70.00	c	149.00	a
54	HO COARI I 2X	112.00	a	78.33	b	135.67	a
55	HO MUTUM I 2X	110.33	a	85.00	b	176.00	a
56	HO PRATA I 2X	108.67	b	56.67	d	126.67	a
57	HO GUAPO I 2X	108.67	b	78.33	b	160.00	a
58	HO CORUMBA IPRO	107.00	b	60.00	d	97.67	a
59	HO APORE IPRO	107.00	b	58.33	d	132.00	a
60	HO IGUAÇU IPRO	107.00	b	53.33	d	120.33	a

Fonte: autoria própria.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 3D. Valores de máximos e mínimos das médias de caracteres agrônômicos (NDM, APM e PROD) dos genótipos de soja semeados em 10/12/2024 (ambiente 4), por meio do teste comparativo de médias Scott-Knott.

GENOTIPOS	IDENTIFICAÇÃO	NDM		APM		PROD	
1	(6901 x TMG 801) X TMG 801	122.67	b	58.33	b	277.33	a
2	(6901 x TMG 801) X TMG 801	114.00	c	73.33	a	176.67	b
3	(6901 x TMG 801) X TMG 801	114.00	c	68.33	b	294.00	a
4	GUEPARDO	105.00	d	56.67	b	275.33	a
5	(6901 x TMG 801) X TMG 801	117.67	c	71.67	a	243.00	a
6	(6901 x TMG 801) X TMG 801	112.00	d	56.67	b	176.67	b
7	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	105.00	d	50.00	b	225.33	b
8	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	114.00	c	71.67	a	216.33	b
9	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	114.00	c	83.33	a	333.00	a
10	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	119.33	c	71.67	a	256.33	a
11	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	110.00	d	66.67	b	189.67	b
12	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	114.00	c	61.67	b	220.00	b
13	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	108.67	d	48.33	b	144.33	b
14	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	112.00	d	83.33	a	273.67	a
15	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	108.33	d	65.00	b	122.00	b
16	STINE77AEA40	114.00	c	58.33	b	258.00	a
17	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	124.33	b	86.67	a	275.00	a
18	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	119.33	c	86.67	a	368.67	a
19	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	117.33	c	60.00	b	248.67	a
20	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	114.00	c	70.00	b	206.67	b
21	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	110.33	d	53.33	b	180.67	b
22	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	112.00	d	63.33	b	250.00	a
23	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	112.00	d	66.67	b	188.33	b
24	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	112.00	d	48.33	b	164.67	b
25	BRSGO 7560	112.00	d	66.67	b	154.33	b
26	BONUS	116.00	c	68.33	b	304.33	a
27	TMG 801	131.00	a	73.33	a	382.67	a
28	TORMENTA	112.00	d	78.33	a	261.33	a
29	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	117.67	c	63.33	b	293.67	a
30	UFUS6901/TMG801-RC1P2	136.00	a	91.67	a	356.00	a
31	BRS7380RR/TMG1179RR	122.67	b	83.33	a	359.00	a
32	UFUS6901	121.00	b	83.33	a	238.00	a
33	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	126.00	b	86.67	a	305.33	a
34	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	121.00	b	55.00	b	270.33	a
35	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	117.67	c	73.33	a	302.67	a
36	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	114.00	c	95.00	a	276.33	a
37	BRS7380RR/TMG1179RR	126.00	b	81.67	a	276.33	a
38	BRS7380RR/TMG1179RR	124.33	b	91.67	a	292.33	a

39	TMG1179RR	119.33	c	65.00	b	214.67	b
40	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	122.67	b	68.33	b	281.33	a
41	BRS 284	106.67	d	41.67	b	65.67	b
42	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P1	121.00	b	81.67	a	304.67	a
43	TMG801/BMX_DESAFIO	134.33	a	86.67	a	382.00	a
44	TMG801/BMX_DESAFIO	127.67	b	78.33	a	298.00	a
45	BRS7380RR/TMG1179RR	119.33	c	66.67	b	283.00	a
46	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	117.67	c	61.67	b	269.33	a
47	BRS 7580	116.00	c	68.33	b	274.67	a
48	TMG801/BMX_DESAFIO	122.67	b	78.33	a	319.33	a
49	TMG801/BMX_DESAFIO	134.33	a	93.33	a	312.33	a
50	LG 60174 IPRO	108.67	d	55.00	b	251.00	a
51	UFUS6901/TMG801-RC1P2	129.33	a	80.00	a	343.00	a
52	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	126.00	b	66.67	b	301.33	a
53	OLIMPO	117.67	c	70.00	b	312.33	a
54	HO COARI I 2X	129.33	a	76.67	a	326.67	a
55	HO MUTUM I 2X	126.00	b	71.67	b	288.00	a
56	HO PRATA I 2X	116.00	c	65.00	b	259.67	a
57	HO GUAPO I 2X	117.67	c	73.33	a	290.67	a
58	HO CORUMBA IPRO	110.33	d	51.67	b	210.33	b
59	HO APORE IPRO	112.00	d	45.00	b	131.67	b
60	HO IGUAÇU IPRO	110.33	d	50.00	b	185.00	b

Fonte: autoria própria.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 3E. Valores de máximos e mínimos das médias de caracteres agrônômicos (NDM, APM e PROD) dos genótipos de soja semeados em 30/12/2024 (ambiente 5), por meio do teste comparativo de médias Scott-Knott.

GENOTIPO	IDENTIFICAÇÃO	NDM		APM		PROD	
1	(6901 x TMG 801) X TMG 801	126.00	b	55.00	c	168.33	a
2	(6901 x TMG 801) X TMG 801	121.00	c	51.67	c	148.67	b
3	(6901 x TMG 801) X TMG 801	119.33	c	63.33	b	172.00	a
4	GUEPARDO	114.33	c	53.33	c	190.33	a
5	(6901 x TMG 801) X TMG 801	121.00	c	61.67	b	165.33	a
6	(6901 x TMG 801) X TMG 801	124.33	b	65.00	b	145.00	b
7	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	124.33	b	71.67	a	226.00	a
8	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	127.67	b	65.00	b	201.33	a
9	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	121.00	c	73.33	a	224.33	a
10	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	119.33	c	58.33	b	155.33	b
11	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	119.33	c	63.33	b	169.33	a
12	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	119.33	c	73.33	a	209.67	a
13	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	117.67	c	53.33	c	171.33	a
14	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	119.33	c	61.67	b	199.67	a
15	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	121.00	c	63.33	b	193.00	a
16	STINE77AEA40	119.33	c	55.00	c	153.67	b

17	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	119.33	c	71.67	a	180.00	a
18	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	119.33	c	80.00	a	185.00	a
19	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	121.00	c	60.00	b	120.67	b
20	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	119.33	c	61.67	b	118.33	b
21	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	119.33	c	46.67	c	122.67	b
22	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	121.00	c	46.67	c	126.33	b
23	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	121.00	c	71.67	a	154.67	b
24	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	117.67	c	50.00	c	162.00	b
25	BRSGO 7560	117.67	c	55.00	c	83.33	b
26	BONUS	117.67	c	58.33	b	185.67	a
27	TMG 801	127.67	b	58.33	b	212.67	a
28	TORMENTA	121.00	c	61.67	b	129.00	b
29	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	127.67	b	63.33	b	127.67	b
30	UFUS6901/TMG801-RC1P2	134.33	a	96.67	a	205.67	a
31	BRS7380RR/TMG1179RR	127.67	b	71.67	a	155.00	b
32	UFUS6901	126.00	b	75.00	a	193.33	a
33	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	127.67	b	78.33	a	193.67	a
34	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	121.00	c	53.33	c	173.67	a
35	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	122.67	c	83.33	a	205.33	a
36	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	122.67	c	81.67	a	243.00	a
37	BRS7380RR/TMG1179RR	122.67	c	66.67	a	169.33	a
38	BRS7380RR/TMG1179RR	124.33	b	81.67	a	207.00	a
39	TMG1179RR	121.00	c	51.67	c	211.33	a
40	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	132.67	a	53.33	c	155.33	b
41	BRS 284	119.33	c	36.67	c	57.33	b
42	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P1	126.00	b	73.33	a	218.67	a
43	TMG801/BMX_DESAFIO	129.33	a	73.33	a	180.00	a
44	TMG801/BMX_DESAFIO	127.67	b	61.67	b	180.67	a
45	BRS7380RR/TMG1179RR	124.33	b	53.33	c	171.33	a
46	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	122.67	c	51.67	c	127.00	b
47	BRS 7580	119.33	c	60.00	b	168.33	a
48	TMG801/BMX_DESAFIO	131.00	a	76.67	a	218.67	a
49	TMG801/BMX_DESAFIO	131.00	c	78.33	a	235.33	a
50	LG 60174 IPRO	121.00	a	53.33	c	193.33	a
51	UFUS6901/TMG801-RC1P2	131.00	a	70.00	a	201.67	a
52	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	131.00	a	61.67	b	200.67	a
53	OLIMPO	121.00	c	56.67	b	180.67	a
54	HO COARI I 2X	121.00	c	73.33	a	232.67	a
55	HO MUTUM I 2X	124.33	b	71.67	a	198.67	a
56	HO PRATA I 2X	116.00	c	53.33	c	156.00	b
57	HO GUAPO I 2X	122.67	c	60.00	b	173.67	a
58	HO CORUMBA IPRO	116.00	c	45.00	c	129.67	b
59	HO APORE IPRO	119.33	c	61.67	b	150.67	b
60	HO IGUAÇU IPRO	116.00	c	51.67	c	141.00	b

Fonte: autoria própria.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

RESUMO

OLIVEIRA, A. M. S. **Uso de índices de vegetação na Fenotipagem digital de soja.** Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki. 2025. 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

A fenotipagem de alto rendimento (HTP - High-Throughput Phenotyping) tem se consolidado como uma ferramenta inovadora no melhoramento genético de plantas, permitindo a coleta de dados precisos, rápidos e não destrutivos. Objetivou-se avaliar o uso de imagens Red Green Blue RGB obtidas com veículos aéreos não tripulados VANTS para análise de caracteres agrônômicos em soja para fins de melhoramento genético, no município de Buriti Alegre – GO. O experimento foi conduzido no município de Buriti Alegre – GO, com semeadura realizada em 30 de dezembro de 2024, utilizando sessenta genótipos de soja. As imagens aéreas foram capturadas por drone nos estádios fenológicos reprodutivos R5, R6, R7 e R8, com voos realizados em 19 de março, 2 e 4 de abril de 2025. A partir dessas imagens, calcularam-se os índices ExG (Excess Green), VARI (Visible Atmospherically Resistant Index) e NGRDI (Normalized Green–Red Difference Index), os quais foram relacionados aos caracteres agrônômicos altura da planta na maturação (APM), número de vagens (NV), produtividade de grãos (PROD) e número de dias para maturação (NDM). A análise de componentes principais (PCA) explicou 52,5% da variação total, destacando a associação entre os índices de vegetação dos estádios mais avançados e os caracteres agrônômicos. A análise de agrupamento hierárquico revelou quatro grupos principais de similaridade entre os genótipos, evidenciando variabilidade genética e fenotípica significativa. Os resultados indicam que os índices ExG, VARI e NGRDI são promissores para a seleção indireta de genótipos superiores, auxiliando programas de melhoramento de soja por meio de fenotipagem digital.

Palavras-chave: *Glycine max*; melhoramento genético; imagens; ciclo; produtividade

ABSTRACT

OLIVEIRA, A. M. S. **Use of vegetation indices in digital phenotyping of soybeans.** Adviser: Prof. Dr. Osvaldo Toshiyuki Hamawaki. 2025. 92 f. Thesis (Doctor in Agronomy) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia.

High-Throughput Phenotyping (HTP) has established itself as an innovative tool in plant breeding, enabling accurate, rapid, and non-destructive data collection. This study aimed to evaluate the use of RGB images obtained with UAVs for analyzing agronomic traits in soybean for genetic improvement purposes in the municipality of Buriti Alegre, Goiás. The experiment was conducted in Buriti Alegre, Goiás, with sowing on December 30, 2024, using sixty soybean genotypes. Aerial images were captured by drone at the reproductive phenological stages R5, R6, R7, and R8, with flights conducted on March 19 and April 2 and 4, 2025. From these images, the Excess Green (ExG), Visible Atmospherically Resistant Index (VARI), and Normalized Green–Red Difference Index (NGRDI) indices were calculated, correlating them with the agronomic traits plant height at maturity (APM), pod number (NV), grain yield (PROD), and days to maturity (NDM). Principal component analysis (PCA) explained 52.5% of the total variation, highlighting the association between vegetation indices at more advanced stages and agronomic traits. Hierarchical cluster analysis revealed four main groups of similarity among genotypes, demonstrating significant genetic and phenotypic variability. The results indicate that the ExG, VARI, and NGRDI indices are promising for the indirect selection of superior genotypes, supporting soybean breeding programs through digital phenotyping.

Key-words: *Glycine max*; plant breeding; image; cycle; yield.

Capítulo 2 USO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NA FENOTIPAGEM DIGITAL DE SOJA

1 Introdução

A soja (*Glycine max* L. Merrill) pertencente à família Fabaceae destaca-se como uma das principais culturas agrícolas mundiais, sendo o Brasil atualmente seu maior produtor global. Na safra 2024/25, a produção brasileira atingiu 169,7 milhões de toneladas, superando a safra 2023/24 em 14,8%, graças às boas condições climáticas na maioria das regiões produtoras e aos investimentos em tecnologia (Conab, 2025).

Diante da crescente importância econômica da cultura e do aumento expressivo na produção nacional, torna-se essencial o aprimoramento contínuo das cultivares de soja. Assim, os programas de melhoramento genético vegetal têm buscado obter dados que possam subsidiar a seleção de genótipos promissores de forma rápida, precisa e de baixo custo (Costa *et al.*, 2021).

Neste contexto, a fenotipagem por imagem representa uma importante ferramenta a ser incorporada ao conjunto de técnicas disponíveis ao melhorista de plantas. Contudo, mesmo com o uso de recursos tecnológicos avançados, como métodos de engenharia sofisticados e softwares modernos de análise de dados fenômicos, ainda é fundamental garantir experimentos bem conduzidos, além da seleção adequada dos métodos de melhoramento e das análises estatísticas (Matias *et al.*, 2023).

Nos últimos anos, a fenotipagem de alto rendimento (HTP) tem estreitado a distância entre os estudos genômicos e fenômicos de plantas, impulsionada principalmente pelos avanços em hardwares e softwares aplicados ao melhoramento genético. Dessa forma, as contribuições do melhoramento genético baseadas no uso da tecnologia de HTP apresenta elevado potencial de redução de custos operacionais e otimização das condições de trabalho dos profissionais envolvidos nas avaliações de campo. Não obstante, contribui a longo prazo, para o aumento sustentável da produção agrícola (Matias, Volpato e Firigato, 2023).

Na atual fase do melhoramento genético vegetal, a fenotipagem de alto rendimento (HTP High-Throughput Phenotyping) destaca-se como uma ferramenta promissora, possibilitando a avaliação de múltiplos caracteres com elevado nível de detalhamento espacial e temporal, algo antes inatingível pelas metodologias tradicionais (Wallace *et al.*, 2018).

Apesar de o melhoramento de precisão representar uma estratégia promissora e complementar ao método clássico, sua total substituição ainda é pouco provável de ocorrer. Cada abordagem apresenta vantagens específicas e aplicações adequadas a diferentes contextos. O melhoramento convencional, utilizado há décadas no desenvolvimento de novas cultivares,

baseia-se na seleção e no cruzamento de genótipos com características agronomicamente desejáveis, possuindo um histórico consolidado de êxito. Já o melhoramento de precisão contribui para acelerar as etapas de seleção e identificar, de forma mais eficiente, plantas com atributos de interesse. Assim, ambas as metodologias se mostram complementares e, quando aplicadas de maneira integrada, potencializam os resultados obtidos nos programas de melhoramento genético de plantas (Resende, Brondani e Chaves, 2023).

Uma variável importante a ser intensamente considerada é a utilização crescente de veículos aéreos não tripulados equipados com diversos sensores, desde os operacionais utilizando informações do espectro visível, representadas pelo modelo de cores RGB Red, Green e Blue (vermelho, verde e azul), até os multiespectrais com tecnologia diferenciada, capazes de identificar diferentes comprimentos de onda. Aduz-se o acompanhamento dos diversos estádios fenológicos da cultura e a viabilização de análises técnicas do desempenho agrônomo das plantas cultivadas (Silva *et al.*, 2022).

De acordo com Gutierrez-Rodriguez *et al.*, (2005) os índices de vegetação (IV) correspondem a combinações/equações matemáticas entre diferentes bandas espectrais, elaboradas com o propósito de evidenciar o vigor e as características da cobertura vegetal.

Alves *et al.* (2024) realizaram um experimento no campo com linhas puras de soja, avaliando índices de vegetação extraídos de imagens RGB em diferentes estádios e correlacionando os índices de vegetação com dados agrônômicos. Foi concluindo que a pesquisa foi expressamente útil na evidência, de forma prática, da substituição/informação das medidas fenotípicas em seleção por índices de vegetação. Neste sentido, as aeronaves remotamente pilotadas RPAs captam imagens e geram dados, os quais permitem distinguir o desempenho agrônomo dos genótipos em estudo, de forma mais precisa, identificando os promissores, por meio de índices de vegetação.

Vianna *et al.* (2025) avaliaram as correlações entre quatro índices de vegetação obtidos por imagens RGB, quais sejam: o RGBVI (red–green–blue vegetation index), o GLI (green leaf index), o VARI (visible atmospheric resistant index) e o NGRDI (normalized green–red difference index) e as características fenotípicas relevantes em soja no estágio fenológico R5. Concluiu-se que as informações geradas podem contribuir para o aumento da precisão na predição de características agrônômicas e para a redução dos custos associados à fenotipagem manual.

Deste modo, diversos índices espectrais baseados exclusivamente na faixa do visível têm sido desenvolvidos para aplicação em imagens obtidas por veículos aéreos não tripulados (VANTs), visando quantificar a fração de vegetação (VF) em diferentes fases fenológicas das

culturas. Entre esses índices destacam-se o Normalized Green-Red Difference Index (NGRDI) (Gitelson *et al.*, 2002) e o Excess Green (ExG) (Woebbecke *et al.*, 1995). De acordo com Marcial-Pablo *et al.* (2018), o ExG é um índice de vegetação bem adequado para monitoramento nos estádios fenológicos iniciais das culturas.

Objetivo

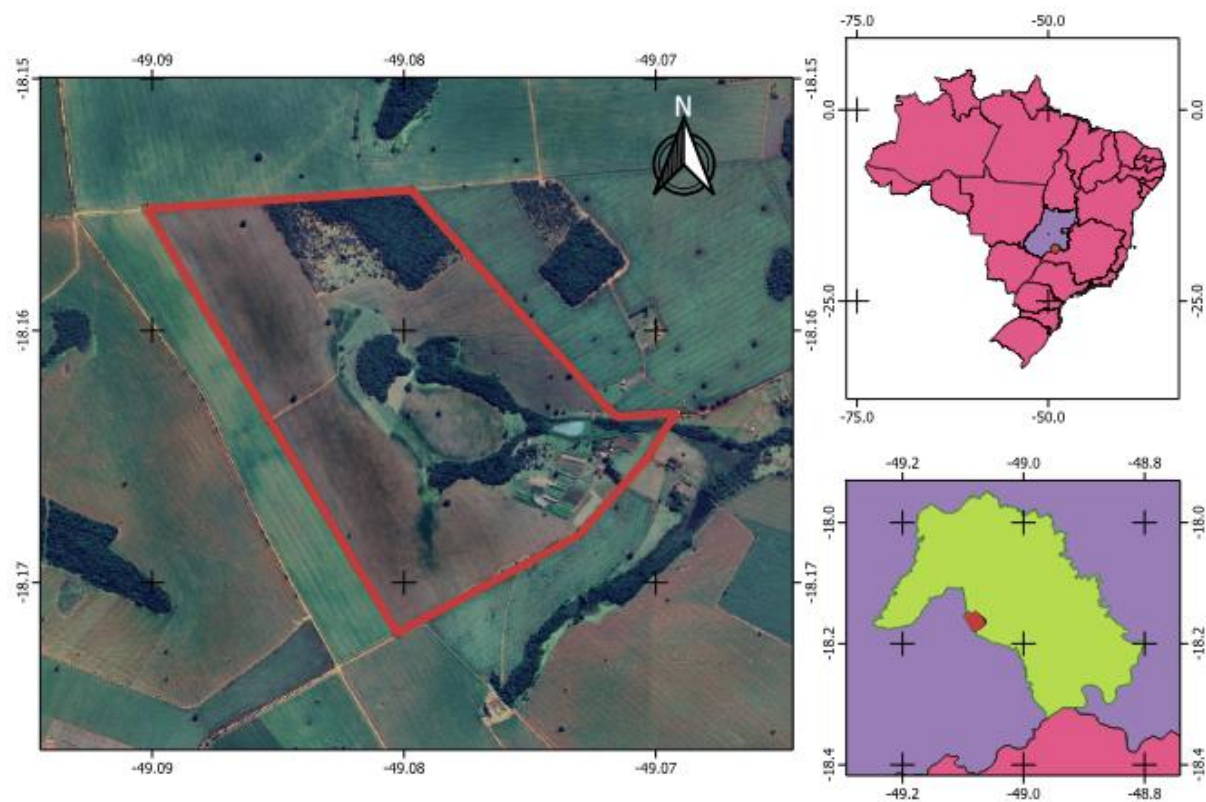
Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o uso de imagens RGB obtidas com VANTS para análise de caracteres agrônômicos em soja para fins de melhoramento genético, no município de Buriti Alegre – GO.

2 Material e Métodos

2.1 Área, delineamento experimental, tratamentos e caracteres agrônômicos:

O experimento foi conduzido em condições de campo, localizado na Fazenda São José, município de Buriti Alegre - GO (Figura 1), cujas coordenadas geográficas são 18°09'59" de latitude Sul e 49°04'21" de longitude Oeste, ficando a uma altitude de 840 m.

Figura 1 – Mapa da área experimental, Fazenda São José, Buriti Alegre - GO, GO-419, km 2.



Fonte: autoria própria.

O Estado de Goiás possui clima predominante tropical semiúmido, cujas características se apresentam em duas estações distintas: uma de seca (maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril). A temperatura varia de 15 a 32°C, raramente atingindo valores abaixo de 12 °C ou acima de 36 °C. A precipitação pluviométrica anual varia entre 1300 e 1600 mm. Com relação à vegetação, o bioma Cerrado mostra-se predominante. Quanto ao tipo de solo, prepondera o latossolo vermelho, caracterizado por ser rico em nutrientes e ter boa capacidade de retenção de água, o que o torna adequado para a agricultura (Embrapa, 2025).

Já o município de Buriti Alegre – GO apresenta clima do tipo Aw, segundo a classificação climática de Koppen, com temperatura média anual de 22,1°C e precipitação média anual de 1581,6 mm (Classificação [...], 2025). O solo do município e da área experimental é do tipo latossolo (Nascimento, 2017). De acordo com Lepsch (2002) devido ao avançado grau de intemperismo a que foram submetidos, os latossolos geralmente apresentam grande profundidade, elevada porosidade e boa permeabilidade. Porém, são carentes em nutrientes, resultando em baixa fertilidade natural.

O delineamento experimental adotado foi o delineamento em blocos casualizados com 60 tratamentos (41 genótipos de geração F5 e F6 e 19 cultivares comerciais) e 3 repetições (Tabela 1), sendo os genótipos pertencentes ao núcleo de pesquisa genética e melhoramento de soja da UFU, Uberlândia-MG.

Tabela 1 – Listagem dos genótipos e cultivares controle estudados na pesquisa safra 2024/2025.

Tratamento	Genótipo/Controle	Genealogia/Cultivares controle	Geração 24/25
1	UFUS 1	(6901 x TMG 801) X TMG 801	F5
2	UFUS 2	(6901 x TMG 801) X TMG 801	F5
3	UFUS 3	(6901 x TMG 801) X TMG 801	F5
4	C4 Controle	BRASMAX GUEPARDO IPRO	
5	UFUS 5	(6901 x TMG 801) X TMG 801	F5
6	UFUS 6	(6901 x TMG 801) X TMG 801	F5
7	UFUS 7	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F5
8	UFUS 8	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F5
9	UFUS 9	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F5
10	UFUS 10	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F5
11	UFUS 11	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F5
12	UFUS 12	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	F5
13	UFUS 13	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	F5
14	UFUS 14	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	F5
15	UFUS 15	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	F5
16	C16 Controle	STINE77AEA40	
17	UFUS 17	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	F5

18	UFUS 18	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	F5
19	UFUS 19	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F5
20	UFUS 20	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F5
21	UFUS 21	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F5
22	UFUS 22	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F5
23	UFUS 23	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F5
24	UFUS 24	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	F5
25	C25 Controle	BRSGO 7560	
26	C26 Controle	BRASMAX BONUS IPRO	
27	C27 Controle	TMG 801	
28	C28 Controle	BRASMAX TORMENTA CE	
29	UFUS 29	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	F5
30	UFUS 30	UFUS6901/TMG801-RC1P2	F6
31	UFUS 31	BRS7380RR/TMG1179RR	F6
32	C32 Controle	UFUS6901	
33	UFUS 33	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	F5
34	UFUS 34	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	F5
35	UFUS 35	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	F6
36	UFUS 36	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	F6
37	UFUS 37	BRS7380RR/TMG1179RR	F6
38	UFUS 38	BRS7380RR/TMG1179RR	F6
39	C39 Controle	TMG1179RR	
40	UFUS 40	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	F5
41	C41 Controle	BRS 284	
42	UFUS 42	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P1	F6
43	UFUS 43	TMG801/BMX_DESAFIO	F6
44	UFUS 44	TMG801/BMX_DESAFIO	F6
45	UFUS 45	BRS7380RR/TMG1179RR	F5
46	UFUS 46	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	F5
47	C47 Controle	BRS 7580	
48	UFUS 48	TMG801/BMX_DESAFIO	F6
49	UFUS 49	TMG801/BMX_DESAFIO	F6
50	C 50Controle	LG 60174 IPRO	
51	UFUS 51	UFUS6901/TMG801-RC1P2	F6
52	UFUS 52	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	F5
53	C53 Controle	BRASMAX OLIMPO IPRO	
54	C54 Controle	HO COARI I2X	
55	C55 Controle	HO MUTUM I2X	
56	C56 Controle	HO PRATA I2X	
57	C57 Controle	HO GUAPO I2X	
58	C58 Controle	HO CORUMBA IPRO	
59	C59 Controle	HO APORE IPRO	
60	C60 Controle	HO IGUAÇU IPRO	

Fonte: autoria própria.

A parcela experimental foi constituída por duas linhas de dois metros lineares, com espaçamento de 0,5 m entre linhas, sendo a parcela útil equivalente a dois metros lineares centrais, excluindo-se 0,5 m de cada extremidade.

O experimento foi conduzido em área previamente cultivada, a qual passou por preparo convencional do solo. Inicialmente, realizou-se uma aração com arado de discos, seguida de duas gradagens niveladoras, com o objetivo de proporcionar melhor uniformidade do terreno e condições adequadas para o estabelecimento da cultura.

As sementes foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando o inoculante do tipo turfoso, na dose de 100 mL para 50 kg de sementes, visando à promoção da fixação biológica de nitrogênio e ao bom desenvolvimento inicial das plantas.

A semeadura do experimento se deu na data de 30/12/2024, data dentro do calendário de zoneamento agrícola de risco climático para o município de Buriti Alegre - GO, sendo a densidade de semeadura de 14 sementes por metro. Após a emergência da cultura, foram realizadas aplicações de herbicidas pós-emergentes para o controle de plantas daninhas de folhas largas e estreitas. Utilizou-se o herbicida seletivo e sistêmico de princípio ativo clorimuron na dose de 80 g.ha⁻¹ para controle de plantas daninhas de folhas largas e o herbicida seletivo e sistêmico de princípio ativo clethodim, na dose de 0,45 L.ha⁻¹, para controle de plantas daninhas de folhas estreitas.

Para o controle de pragas da soja, principalmente lagartas desfolhadoras e percevejos do grão, foram realizadas aplicações de inseticidas conforme o monitoramento da lavoura. O inseticida utilizado foi o princípio ativo tiametoxam + lambda-cialotrina na dose de 0,2 L.ha⁻¹ para controle de lagartas e percevejos, aplicados com pulverizador costal, seguindo as boas práticas agrícolas e o uso de equipamentos de proteção individual. Já para o controle de doenças, foi utilizado o fungicida de princípio ativo bixafem + prothioconazol + trifloxistrobina na dose de 0,5 L.ha⁻¹.

Todos os tratos culturais e fitossanitários seguiram as recomendações técnicas para a cultura da soja (Seixas *et al.*, 2020), garantindo o adequado desenvolvimento das plantas e a padronização das condições experimentais.

Avaliaram-se os seguintes caracteres:

- Número de dias para a maturação (NDM): realizado quando a planta se encontrava no estágio fenológico R8 (Fehr e Caviness, 1977) e contado a partir da data de semeadura até a data em que pelo menos 50% das plantas da área útil apresentavam 95% ou mais das vagens maduras, expresso em dias.

- Altura da planta na maturação (APM): realizado quando a planta se encontrava no estágio fenológico R8 e medido utilizando-se uma régua/trena, sendo que a medida foi obtida a partir da base da planta até o ponto mais alto da haste principal, expresso em centímetros (cm).

- Número de vagens (NV): obtido por meio de contagem (número) das vagens presentes na haste da planta.

- Produtividade de grãos (PROD): valor obtido por meio da pesagem dos grãos da área útil da parcela, após colheita e beneficiamento das plantas. Posteriormente, a massa dos grãos foi determinada em balança digital, e os valores expressos em g. m^{-1} .

Os voos para captura de imagens e geração de índices de vegetação foram realizados no período reprodutivo da soja, a partir do estágio fenológico R5 até R8 (Fehr e Caviness, 1977).

A fim de monitorar o experimento de soja, foram realizados voos utilizando uma aeronave remotamente pilotada RPA da marca DJI, modelo Mavic 2 PRO (Figura 2), equipada com câmera Hasselblad L1D-20c, RGB, com um sensor CMOS de 1 polegada e 20 megapixels. As imagens capturadas durante os voos foram utilizadas na criação de ortomosaicos, com correção geométrica assegurada por pontos de controle distribuídos na área de estudo. Esses pontos de controle foram demarcados com marcadores artificiais do tipo bandeira quadriculada.

A Figura 2 a seguir apresenta a RPA utilizada nos voos.

Figura 2 - RPA DJI Mavic 2 PRO com câmera Hasselblad L1D-20c RGB



Fonte: autoria própria.

Os pontos de controle foram registrados no centro das bandeiras, utilizando-se um receptor GNSS com RTK, da marca Topcon®, modelo Hiper VR, pelo método Real Time Kinematic (RTK) (Figura 3). As imagens aéreas e as coordenadas dos pontos de controle foram organizadas em um banco de dados para processamento posterior. O processamento das imagens foi realizado no software Agisoft Metashape® e o tratamento dos pontos de controle no software MAGNET Tools®. As coordenadas dos pontos de controle foram ajustadas a partir da base (Figura 4), processada com o método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio de sua página oficial na internet.

Figura 3 - Receptor GNSS com RTK/Antena Rover GPS RTK no ponto de controle.



Fonte: autoria própria.

Figura 4 – Base.



Fonte: autoria própria.

A fim de proceder a identificação e reconhecimento da área experimental, realizou-se um primeiro voo com uma aeronave remotamente pilotada RPA, sendo este um procedimento de levantamento das coordenadas geográficas de todo o terreno da área experimental.

Foram realizados três voos utilizando-se uma RPA para obtenção das imagens a 30 metros de altura em relação ao solo, com sobreposição frontal de 80% e lateral de 70%. Os voos foram realizados nos dias 19/03, 02/04 e 10/04/2025, no horário do meio-dia ou 12 h, com céu limpo, durante os estádios reprodutivos da soja.

A Figura 5 representa a vista do experimento na ocasião do primeiro voo, realizado em 19/03/2024.

Figura 5 – Vista do experimento em R5-R6



Fonte: autoria própria.

Dentre os índices vegetais utilizados para monitoramento de plantas cultivadas, nesta pesquisa, foram usados três índices de vegetação que foram o ExG, o NGRDI e o VARI.

Woebbecke *et al.* (1995) propuseram o ExG (Excess Green ou Índice de Verde Excedente) como um índice de realce da cor verde em relação às bandas vermelha e azul, permitindo distinguir a vegetação do solo e de outros elementos na imagem.

A fórmula original é abaixo citada:

$$\text{ExG} = 2G - R - B$$

Em que:

R, G e B são os valores das bandas vermelha (Red), verde (Green) e azul (Blue) da imagem.

Já o NGRDI (Normalized Green–Red Difference Index, ou em português, Índice Normalizado da Diferença entre o Verde e o Vermelho) é um índice de vegetação calculado a partir de imagens RGB (comuns em câmeras digitais) e tem como objetivo realçar a presença e o vigor da vegetação verde. Ele se baseia na diferença entre as intensidades das bandas verde (G) e vermelha (R), normalizada pela soma dessas bandas, a fim de reduzir os efeitos de iluminação e contraste (Tucker, 1979). Ele é calculado pela fórmula a seguir:

$$\text{NGRDI} = (G - R) / (G + R)$$

Em que:

G de green representa verde;

R de red representa vermelho.

Já o VARI (Visible Atmospherically Resistant Index ou Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível) é um índice de vegetação desenvolvido para realçar a vegetação verde em imagens RGB, minimizando os efeitos de variações de iluminação e interferências atmosféricas. Ele é útil ao se utilizar câmeras comuns (não multiespectrais) para estimar a cobertura vegetal ou o vigor das plantas (Gitelson *et al.*, 2002). A fórmula de cálculo é representada com a seguir:

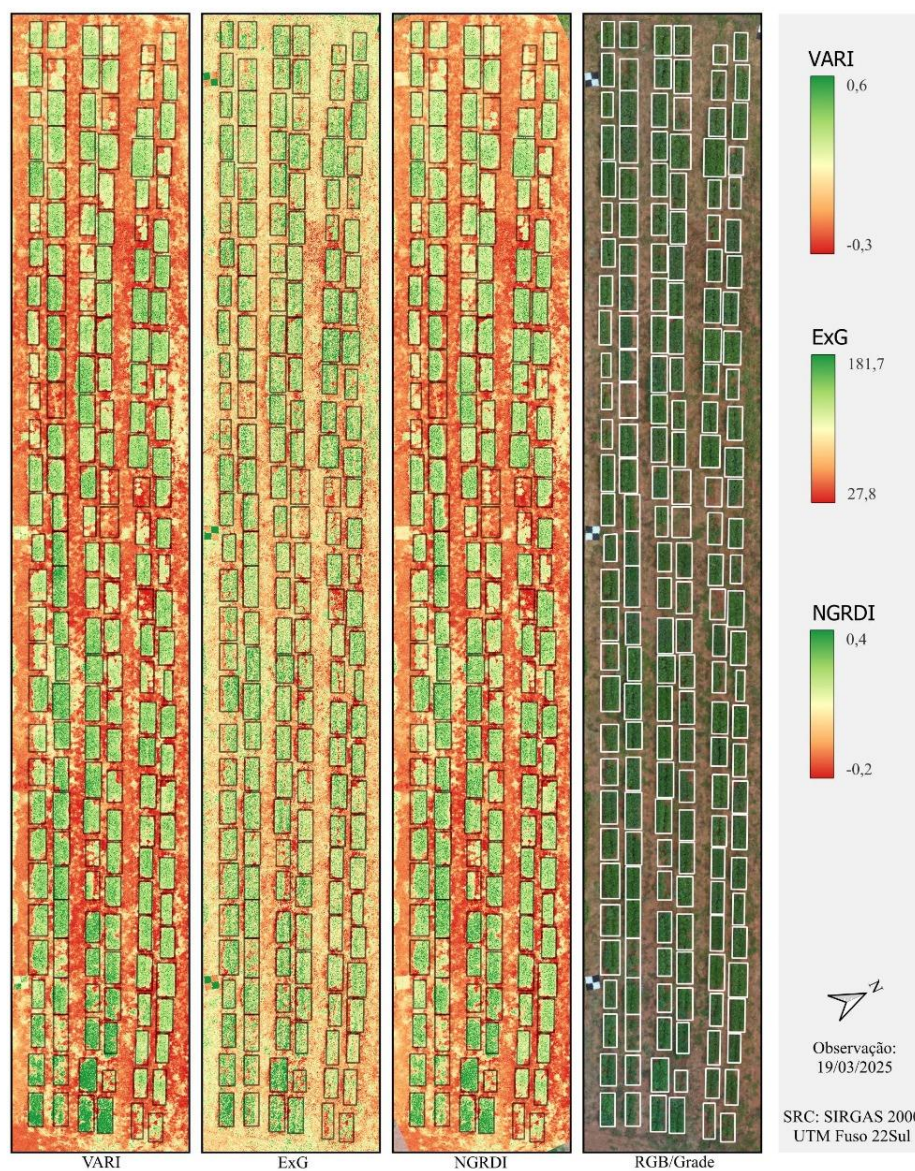
$$\text{VARI} = (G - R) / (G + R - B)$$

Em que:

R, G e B representam os valores das bandas vermelha, verde e azul, respectivamente.

Na Figura 6 estão representadas as imagens dos índices de vegetação VARI, ExG e NGRDI e da área experimental, obtida pela RPA no voo realizado no dia 19/03/2025 onde se destaca à direita a imagem RGB do experimento.

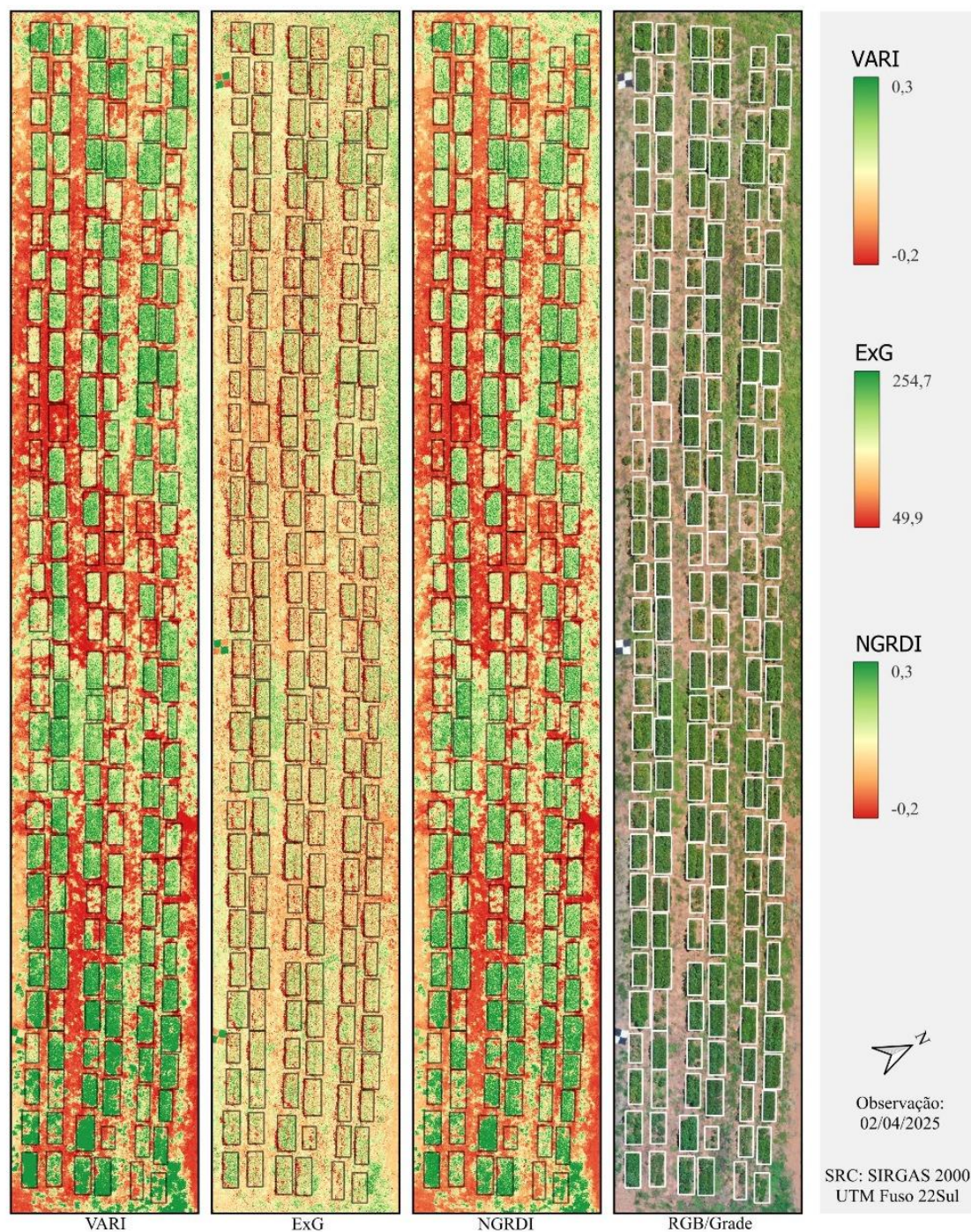
Figura 6 - Índices de vegetação VARI, ExG e NGRDI e da área experimental em 19/03/2025.



Fonte: Autoria própria (2025).

Já a Figura 7 representa a imagem dos índices de vegetação VARI, ExG e NGRDI e da área experimental, obtida pela RPA no voo realizado no dia 02/04/2025.

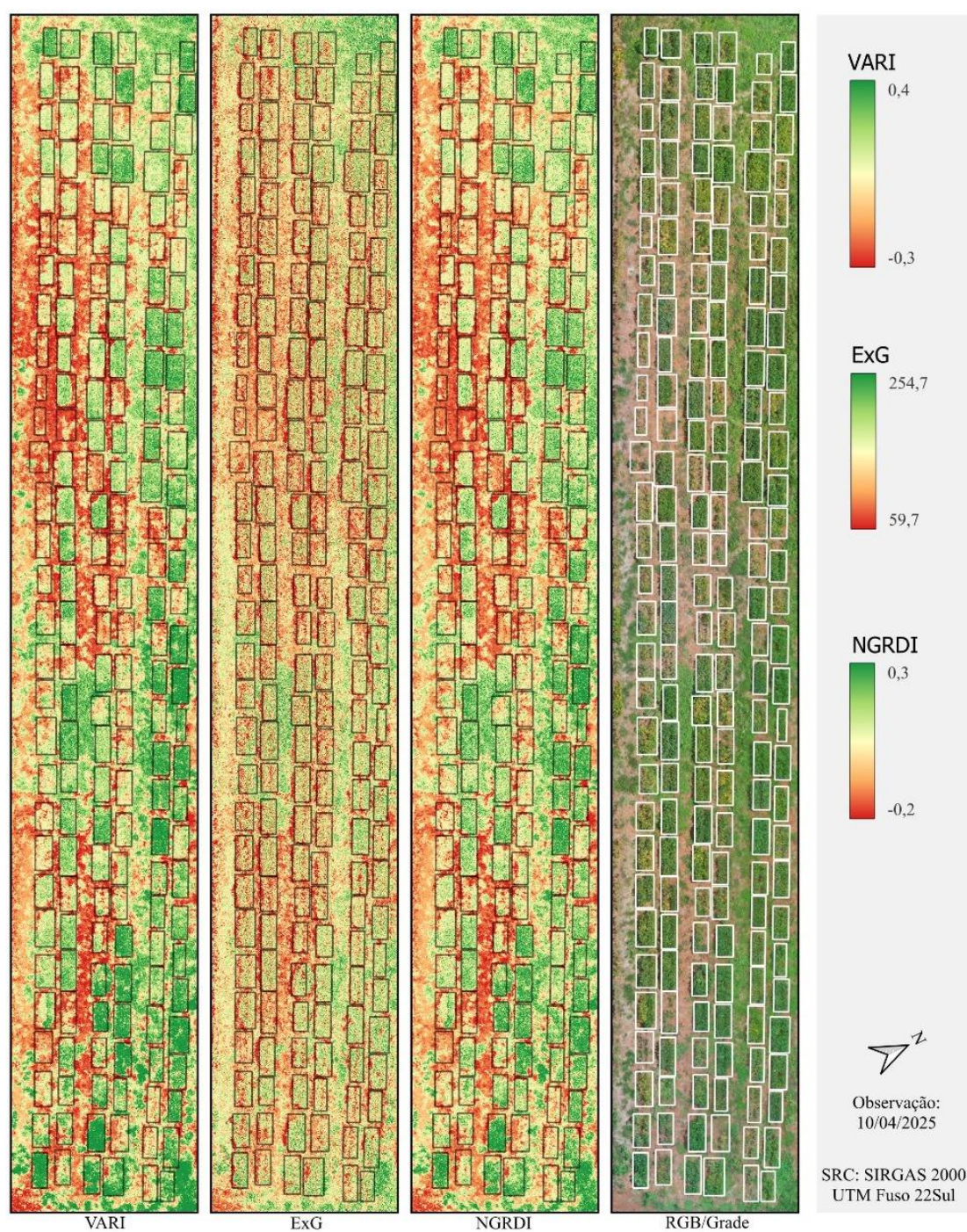
Figura 7 - Índices de vegetação VARI, ExG e NGRDI e da área experimental em 02/04/2025.



Fonte: autoria própria.

Na Figura 8 estão apresentadas as imagens dos índices de vegetação VARI, ExG e NGRDI e da área experimental, obtida pela RPA no voo realizado no dia 10/04/2025.

Figura 8 - Índices de vegetação VARI, ExG e NGRDI e da área experimental em 10/04/2025.



Fonte: autoria própria.

2.2 Análise estatística dos dados

As análises estatísticas foram conduzidas utilizando a linguagem R (versão 2024.04.2). Inicialmente, foram ajustados modelos lineares mistos para cada uma das variáveis fenotípicas e índices espectrais de interesse. Os modelos foram especificados com os efeitos aleatórios de genótipo e repetição, conforme a seguinte estrutura:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + r_j + \varepsilon_{ij}$$

Os modelos foram ajustados por máxima verossimilhança restrita (REML), por meio do pacote lme4. Para cada variável, foram estimados os componentes de variância associados ao genótipo, repetição e ao erro residual. Com base nesses componentes, foi calculada a herdabilidade em sentido amplo (h^2), considerando o número de repetições:

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \frac{\sigma_e^2}{r}}$$

onde:

- σ_g^2 é a variância genética entre genótipos;
- σ_e^2 é a variância residual;
- r é o número de repetições.

A significância do efeito de genótipo foi testada por meio de testes de razão de verossimilhança (LRT), com suporte do pacote lmerTest. Os valores de BLUPs (Best Linear Unbiased Predictors) foram extraídos para os genótipos, com o objetivo de prever o desempenho genotípico ajustado para os efeitos ambientais.

A matriz de BLUPs foi utilizada para realizar uma análise de correlação entre as variáveis, calculando-se os coeficientes de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$ e $0,01$). Por fim, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA) sobre a matriz de BLUPs, com o intuito de identificar os padrões de variação multivariada entre os genótipos, utilizando os pacotes FactoMineR e factoextra.

3 Resultados e discussão

Nas Tabelas 3a e 3b, constam a síntese da análise de variância (ANOVA) e os parâmetros genéticos de diferentes características fenotípicas (altura da planta na maturação APM, número de dias para maturação NDM, número de vagens NV e produtividade de grãos PROD) e índices de vegetação (ExG, NGRDI e VARI) em genótipos de soja — avaliados em diferentes estádios de desenvolvimento (R5, R6, R6-R7 e R7-R8).

Tabela 3a– Análise de variância (ANOVA), herdabilidade (h^2) e médias para características agrônômicas e índices de vegetação obtidos por fenotipagem em genótipos de soja. Buriti Alegre – GO, safra 2024/2025.

	APM	NDM	NV	PROD	VARI_R5_R6	ExG_R5_R6	NGRDI_R5_R6
Genótipo	108.2126**	17.4223**	11.5515*	880.8814**	0.0036**	55.1937ns	0.0015*
Residual	58.6111	10.7180	59.9276	1463.5346	0.0118	720.0435	0.0063
h^2	0.85	0.83	0.37	0.64	0.48	0.19	0.41
Média	63.17	122.61	42.26	173.83	0.33	154.32	0.22

Fonte: autoria própria.

Nota: ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade, conforme teste F.

h^2 = herdabilidade no sentido amplo.

APM = altura de planta na maturação; NDM = número de dias para maturação; NV = número de vagens por planta; PROD = Produtividade de grãos; VARI, ExG e NGRDI = índices de vegetação calculados a partir de imagens digitais nos estádios fenológicos indicados (R5, R6, R7 e R8).

TABELA 3b - Análise de variância (ANOVA), herdabilidade (h^2) e médias para características agrônômicas e índices de vegetação obtidos por fenotipagem em genótipos de soja. Buriti Alegre – GO, safra 2024/2025.

	VARI_R6_R7	ExG_R6_R7	NGRDI_R6_R7	VARI_R7_R8	ExG_R7_R8	NGRDI_R7_R8
Genótipo	0.0042*	0.0001*	0.0016ns	0.0050*	180.8433ns	0.0020ns
Residual	0.0198	2122.4264	0.0102	0.0261	2437.7498	0.0142
h^2	0.39	0.00	0.32	0.37	0.18	0.30
Média	0.24	172.12	0.17	0.16	169.10	0.12

Fonte: autoria própria.

Nota: ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade, conforme teste F.

h^2 = herdabilidade no sentido amplo.

APM = altura de planta na maturação; NDM = número de dias para maturação; NV = número de vagens por planta; PROD = Produtividade de grãos; VARI, ExG e NGRDI = índices de vegetação calculados a partir de imagens digitais nos estádios fenológicos indicados (R5, R6, R7 e R8).

Foi observada, durante os estudos, a existência de variância genética para os caracteres APM e NDM cujas herdabilidades foram de elevada magnitude, estando acima de 0,80 e assim, demonstrando situação favorável para o processo seletivo. Além disso, uma variância genética também foi detectada para produtividade de grãos, mas a herdabilidade foi de moderada magnitude. A produtividade de grãos (PROD) também apresentou herdabilidade moderada (h^2

= 0,64), demonstrando que parte expressiva da variação observada é de origem genética. Já em relação aos índices de vegetação VARI e NGRDI no estágio R5_R6, observou-se herdabilidade moderada, evidenciando sensibilidade às diferenças genéticas entre genótipos. Em contrapartida, o índice ExG apresentou valores baixos de herdabilidade e ausência de significância na maioria das fases fenológicas, sugerindo menor capacidade discriminatória.

De modo geral, nota-se uma redução na herdabilidade dos índices à medida que a cultura avança para os estádios reprodutivos finais (R7–R8). Tal situação ocorre devido à melhor discriminação dos índices de vegetação quando a planta está verde e em pleno crescimento, refletindo ativamente a radiação infravermelha próxima e absorvendo a luz vermelha. À medida que a cultura avança para os estádios finais de maturação (R7 e R8), as folhas e vagens secam e mudam de cor para amarelo/marrom, perdendo a atividade fisiológica e a capacidade de refletir o infravermelho, diminuindo, assim, a eficácia dos índices de vegetação para monitorar a sanidade ou biomassa.

Alves *et al.* (2024), em um estudo de fenotipagem de alto rendimento no melhoramento de soja, usaram índices de vegetação de imagem RGB obtidas via drone e concluíram que diferenças genéticas significativas foram identificadas entre os genótipos para todas as características agronômicas avaliadas, com alta precisão e herdabilidade para altura de planta, maturidade no estágio R8. Os índices de vegetação tiveram herdabilidade variando conforme o ambiente e o momento das imagens. Em estágios iniciais, os índices apresentaram valores baixos de herdabilidade; já em estágios mais avançados, de 105 a 120 dias após semeadura, observou-se herdabilidade alta para muitos índices.

Nesta pesquisa, com relação à herdabilidade de índices em estádios avançados, o índice de vegetação VARI_R7_R8, apresentou herdabilidades moderadas a baixas. Já o índice ExG apresentou baixa herdabilidade em vários estádios, corroborando com Alves *et al.* (2024), os quais relatam valores baixos nos estágios iniciais para muitos índices. No caso dos caracteres agronômicos com altura da planta na maturação, número de dias para maturação, número de vagens e produtividade de grãos, nota-se alta herdabilidade. Estes resultados se apresentam semelhantes aos relatados por Alves *et al.* (2024) como alta herdabilidade para caracteres agronômicos como altura, maturação e peso em R8.

As Tabelas 4a e 4b apresentam uma matriz genotípica e mostram as associações entre características agronômicas e índices de vegetação da soja em diferentes estádios fenológicos (R5, R6, R7 e R8).

Tabela 4a – Correlações genotípicas entre características agronômicas e índices de vegetação em genótipos de soja.

	NDM	NV	PROD	VARI_R5_R6	ExG_R5_R6	NGRDI_R5_R6
APM	0.50**	0.56**	0.65**	0.21ns	0.11ns	0.34**
NDM		0.35*	0.37**	0.13ns	0.16ns	0.20ns
NV			0.45**	0.26*	0.20ns	0.28*
PROD				0.33**	0.24ns	0.36**
VARI_R5_R6					0.15ns	0.96**
ExG_R5_R6						0.00ns
NGRDI_R5_R6						
VARI_R6_R7						
NGRDI_R6_R7						
VARI_R7_R8						
ExG_R7_R8						

Fonte: autoria própria.

Nota: ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade, conforme teste F.

APM = altura de planta na maturação; NDM = número de dias para maturação; NV = número de vagens por planta; PROD = Produtividade de grãos; VARI, ExG e NGRDI = índices de vegetação calculados a partir de imagens digitais nos estádios fenológicos indicados (R5, R6, R7 e R8).

Tabela 4b - Correlações genotípicas entre características agronômicas e índices de vegetação em genótipos de soja.

	VARI_R6_R7	NGRDI_R6_R7	VARI_R7_R8	ExG_R7_R8	NGRDI_R7_R8
APM	0.12ns	0.19ns	0.17ns	-0.12ns	0.21ns
NDM	0.35**	0.36**	0.60**	0.06ns	0.61**
NV	0.11ns	0.09ns	0.21ns	-0.18ns	0.22ns
PROD	0.31*	0.37**	0.21ns	-0.16ns	0.23ns
VARI_R5_R6	0.47**	0.42**	0.28*	-0.03ns	0.26*
ExG_R5_R6	0.33**	0.32*	0.22ns	0.12ns	0.21ns
NGRDI_R5_R6	0.44**	0.40**	0.27*	-0.05ns	0.26*
VARI_R6_R7		0.98**	0.39**	0.04ns	0.37**
NGRDI_R6_R7			0.34**	0.00ns	0.33*
VARI_R7_R8				0.23ns	0.99**
ExG_R7_R8					0.16ns

Fonte: autoria própria.

Nota: ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade, conforme teste F.

APM = altura de planta na maturação; NDM = número de dias para maturação; NV = número de vagens por planta; PROD = Produtividade de grãos; VARI, ExG e NGRDI = índices de vegetação calculados a partir de imagens digitais nos estádios fenológicos indicados (R5, R6, R7 e R8).

A matriz de correlação mostra a intensidade e a direção das associações entre as variáveis avaliadas. Observou-se correlações positivas e significativas entre as características agronômicas APM (altura de planta na maturação), NDM (número de dias para maturação), NV (número de vagens por planta) e PROD (produtividade de grãos), indicando que plantas

mais altas e com maior ciclo tendem a apresentar maior número de vagens e produtividade de grãos. A correlação entre APM e PROD ($r = 0,65^{**}$) destaca a influência direta da arquitetura da planta sobre o rendimento.

Ao avaliar época de semeadura e desempenho agronômico de cultivares de soja, Meotti *et al.* (2018) relataram uma maximização do número de vagens por planta, da altura da planta na maturação e da produtividade de grãos em relação às semeaduras de meados de outubro e novembro.

Entre os índices de vegetação, destacam-se fortes correlações internas em cada estágio fenológico, como entre VARI_R6_R7 e NGRDI_R6_R7 ($r = 0,98^{**}$) e entre VARI_R7_R8 e ExG_R7_R8 ($r = 0,99^{**}$), indicando que esses índices capturam informações semelhantes da cobertura vegetal. Essas relações elevadas sugerem que, diferentes índices baseados em reflectância RGB respondem de forma consistente às variações na cor e densidade do dossel da soja.

Foram também observadas correlações entre índices e caracteres agronômicos, em geral, moderadas, variando conforme o estágio de avaliação. O NGRDI_R5_R6 apresentou associação significativa com APM ($r = 0,34^{**}$) e PROD ($r = 0,36^{**}$), mostrando potencial para estimar produtividade a partir de imagens nesse período. O índice VARI_R5_R6 também se correlacionou com PROD ($r = 0,33^{**}$), reforçando sua utilidade na fase intermediária do ciclo. Em contrapartida, nos estádios mais tardios (R7 e R8), as correlações entre índices e caracteres agronômicos foram menores e, em muitos casos, não significativas, sugerindo maior eficiência da discriminação entre genótipos nas fases R5–R6, quando o dossel ainda está ativo e homogêneo. Esses resultados estão em consonância com Alves *et al.* (2024).

Segundo Vianna *et al.* (2025), efeitos genotípicos significativos foram observados para a maioria das características avaliadas, com alta herdabilidade para os caracteres agronômicos e herdabilidade moderada para os índices de vegetação. Correlações significativas entre os caracteres agronômicos e os índices de vegetação foram verificadas, sugerindo que esses índices podem servir como ferramentas eficazes de seleção indireta para características complexas em soja. Além disso, foi encontrada correlação significativa entre os índices RGB (como VARI e ExG) com rendimentos e características como altura de planta, demonstrando que variabilidade capturada por imagens pode refletir diferenças fenotípicas de interesse em programas de melhoramento.

Em plena consonância com este hodierno estudo, Vianna *et al.* (2025) reiteram uma alta herdabilidade para os principais caracteres agronômicos como altura e produtividade. Para herdabilidade dos índices de vegetação, esta pesquisa relata herdabilidades geralmente

moderadas a baixas, com muitos índices não significativos em certos estádios, concordando com Vianna *et al.* (2025), os quais relatam herdabilidade moderada para índices RGB (não tão alta como nos caracteres agronômicos). Aduz-se, portanto, que índices de vegetação tipicamente têm menor controle genético do que caracteres agronômicos diretos.

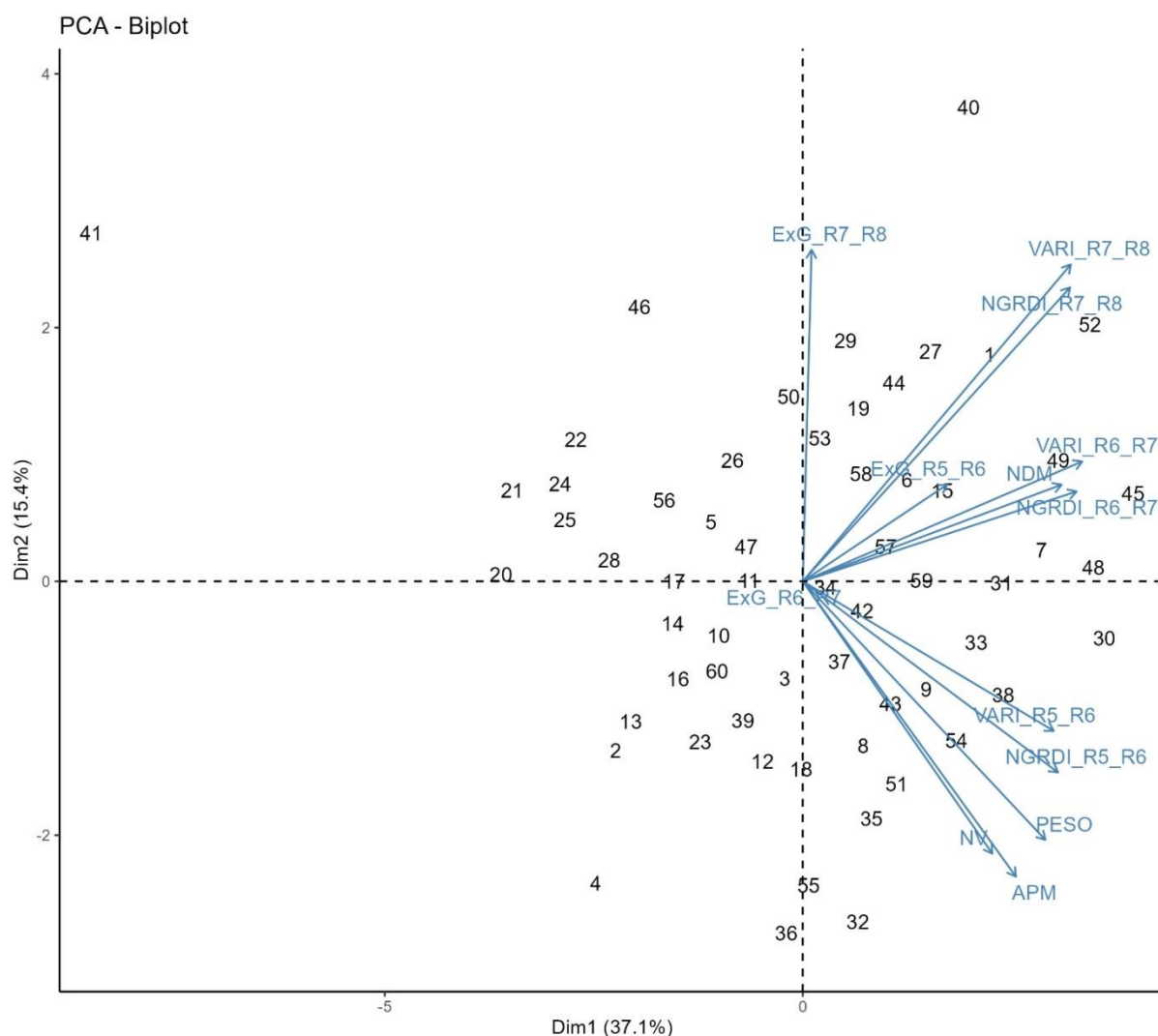
Quanto à correlação entre índices de vegetação e caracteres agronômicos estudados nesta pesquisa, houve correlações moderadas, especialmente em estádios intermediários (por exemplo, NGRDI_R5_R6 correlacionado com APM e PROD, da mesma forma que Vianna *et al.* (2025) reportam correlações significativas entre índices RGB e características como altura de planta e rendimento, fortalecendo o argumento de utilização de indicadores indiretos como índices obtidos por imagens, embora com cautela.

Para variação da eficiência ao longo dos estádios fenológicos, os índices demonstram menor correlação/significância em R7–R8 em comparação com R5–R6, concordando com Vianna *et al.* (2025), os quais sugerem que a eficiência dos índices varia conforme o estádio, mas nem sempre se mantém uniforme ao longo do ciclo. Desta forma, esta pesquisa reforça a tendência reportada de que os índices RGB funcionam melhor em fases intermediárias do ciclo da soja.

Vilela *et al.* (2024) também pesquisaram a severidade de doenças foliares de soja por meio de imagens de Vants, e observaram uma correlação entre o índice de vegetação MPRI (Modified Photochemical Reflectance Index ou Índice de refletância fotoquímica modificado), o AACPD (Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença) e a produtividade de grãos no estádio fenológico R5.5, confirmando a possibilidade de estimar a severidade da doença e os níveis de dano por meio de imagens RGB. Tal fato tornou-se uma importante ferramenta experimental de baixo custo, reduzindo potencialmente a necessidade de avaliações visuais e subjetivas da severidade da doença. O índice de vegetação MPRI apresentou alta correlação com certas doenças foliares, corroborando com o uso de sensores RGB para fenotipagem de alto rendimento em avaliações da produtividade de grãos e da severidade da ferrugem asiática da soja e do oídio em lavouras de soja em climas tropicais de alta altitude, e facilitando a avaliação mais precisa da produtividade de grãos e da severidade da ferrugem asiática da soja e do oídio em lavouras de soja.

Em relação à Figura 9, esta apresenta um biplot de Análise de Componentes Principais (PCA), com identificação de genótipos. Esta é uma técnica estatística multivariada usada para reduzir a dimensionalidade dos dados e visualizar as relações entre variáveis e amostras.

Figura 9 – Biplot da análise de componentes principais (PCA) mostrando a distribuição dos genótipos de soja (pontos) e das variáveis avaliadas (setas), incluindo características agronômicas (APM, NV, PESO=PROD, NDM) e índices de vegetação obtidos por imagens RGB (ExG, NGRDI e VARI) nos diferentes estádios fenológicos (R5 a R8).



Fonte: autoria própria.

Na Figura 9, destacam-se os eixos principais Dim1 (37,1%) e Dim2 (15,4%) por serem dois primeiros componentes principais, os quais, em conjunto, explicam 52,5% da variabilidade total dos dados (37,1 + 15,4). Este valor representa mais da metade da variação observada nas variáveis, sendo então demonstrada neste plano bidimensional.

As setas representam as variáveis originais (índices de vegetação e características agronômicas), sendo os índices de vegetação ExGR5_R6, ExG_R6_R7, ExG_R7_R8 o ExG (Excess Green Index) em diferentes estádios (R5-R6, R6-R7, R7-R8), o NGRDI_R5_R6,

NGRDI_R6_R7, NGRDI_R7_R8 equivale ao Índice NGRDI (Normalized Green-Red Difference Index), o VARI_R5_R6, VARI_R6_R7, VARI_R7_R8 se refere ao Índice VARI (Visible Atmospherically Resistant Index) e os caracteres agronômicos APM, NDM, NV e PROD equivalem, respectivamente, às características fenotípicas altura da planta na maturação, número de dias para maturação, número de vagens e produtividade de grãos.

Quanto à direção e comprimento da seta, observa-se que quanto mais longa for, maior será a contribuição da variável para a explicação da variação nos dados (ou seja, mais importante no modelo). Enquanto a direção da seta indica a relação entre as variáveis, sendo as setas próximas entre si (mesma direção) indicação de variáveis positivamente correlacionadas, enquanto setas opostas indicam variáveis negativamente correlacionadas. E as setas perpendiculares indicam que não há correlação significativa.

Observando a Figura 9, nota-se que ExG_R7_R8, VARI_R7_R8, NGRDI_R7_R8 estão muito próximas e apontam na mesma direção, evidenciando forte correlação positiva entre esses índices de vegetação na fase R7-R8. Os caracteres agronômicos PROD, APM e NV também apontam em direção semelhante. Associados entre si, representam características produtivas. As variáveis ExGR5_R6 e ExG_R6_R7 e ExR_R7_R8 estão mais centradas, indicando menor influência na separação dos componentes.

Os números dos genótipos (1, 2, 3, ..., 59, 60) representam linhagens ou cultivares controle de soja. A proximidade de um ponto com uma seta indica valores altos para aquela variável, para aquele genótipo. Exemplo: genótipos próximos das setas de PROD e APM tendem a ter maior produtividade e altura. Genótipos próximos das setas de NGRDI_R7_R8 e VARI_R7_R8 podem ter maior vigor vegetativo no estágio R7-R8. Já genótipos no lado oposto têm valores mais baixos nessas variáveis.

Deste modo, a interpretação do biplot da Análise de Componentes Principais (PCA) permitiu observar a relação entre os índices de vegetação e as características agronômicas avaliadas nos genótipos de soja. Os dois primeiros componentes explicaram 52,5% da variabilidade total dos dados (Dim1 = 37,1% e Dim2 = 15,4%).

Verificou-se, deste modo, que as variáveis VARI_R7_R8, NGRDI_R7_R8 e ExG_R7_R8 apresentaram forte correlação positiva entre si, indicando consistência nas respostas dos índices de vegetação obtidos nos estádios mais avançados da cultura. As características PROD, APM e NV (peso de grãos, altura de planta e número de vagens, respectivamente) estiveram associadas aos índices de vegetação das fases R6 a R8, sugerindo que o vigor do dossel nessas etapas pode ser um bom indicador indireto do desempenho produtivo.

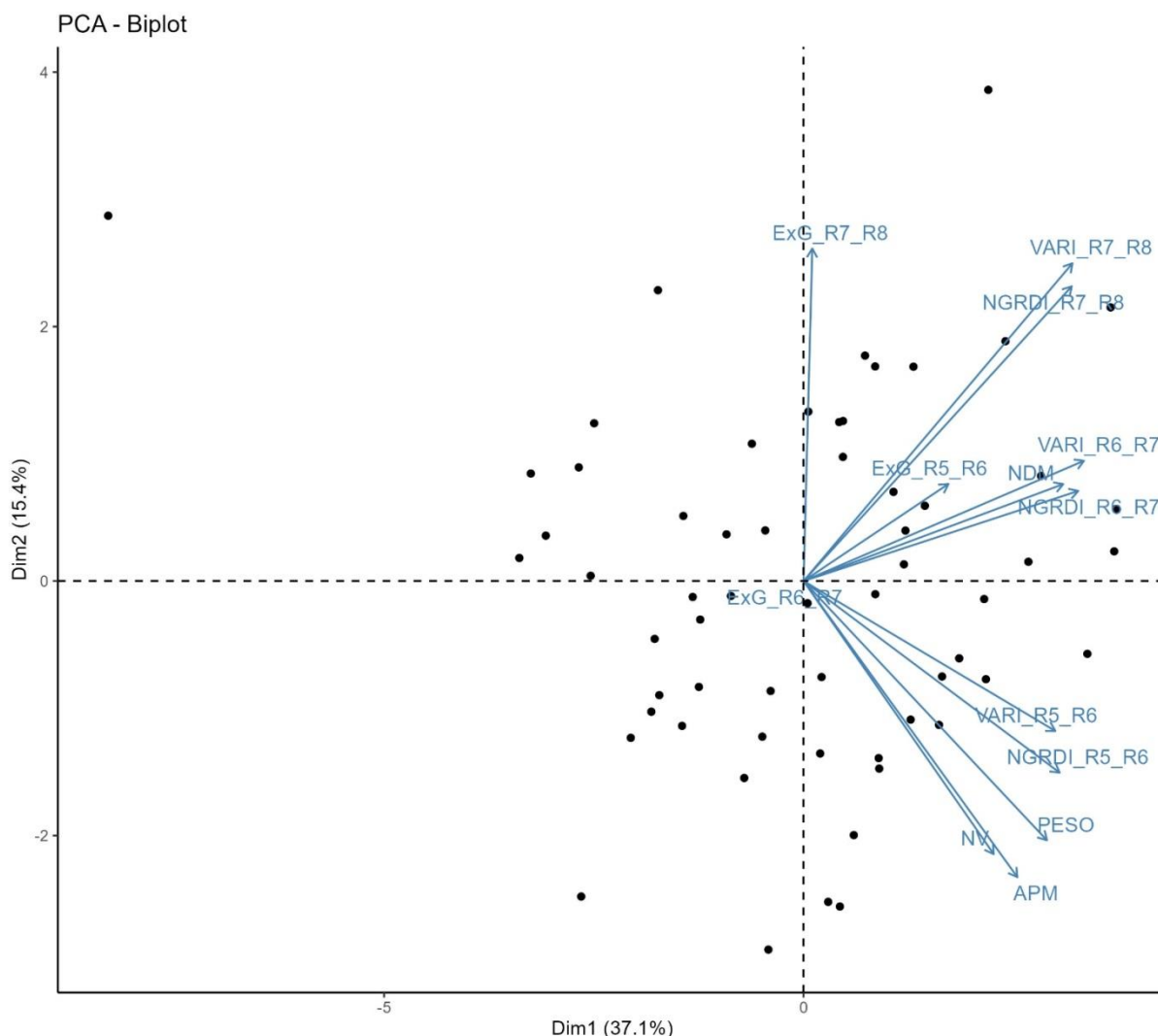
Além disso, os genótipos posicionados próximos aos vetores dessas variáveis tendem a apresentar maior produtividade e vigor vegetativo, enquanto aqueles situados no lado oposto do gráfico indicam valores inferiores. Dessa forma, a Análise de Componentes Principais PCA demonstrou que os índices de vegetação, especialmente VARI e NGRDI nos estádios finais, possuem potencial para auxiliar na seleção indireta de genótipos mais produtivos em programas de melhoramento de soja. Com base nisto, considerando VARI, NGRDI, vigor de planta e produtividade, destaca-se como progênies selecionadas UFUS 42, UFUS 49, UFUS 36, UFUS 30, UFUS 48, UFUS 1, UFUS 52, reiterando que as linhagens UFUS 42, UFUS 36, UFUS 30 e UFUS 1, dentre outras são derivadas do parental UFUS 6901, identificado nesta pesquisa como 32C.

Esses resultados, em conjunto, reforçam a hipótese de utilização promissora da fenotipagem por imagem digital como ferramenta no uso em programas de melhoramento de soja, permitindo a seleção indireta de genótipos superiores por meio de variáveis não destrutivas e de baixo custo.

Miranda *et al.* (2025) relatam a contribuição da análise PCA como ferramenta para identificar genótipos de soja, a qual reúne de forma equilibrada características agronômicas desejáveis, contribuindo para o aprimoramento global das cultivares.

Já a Figura 10 apresenta o biplot de Análise de Componentes Principais (PCA), representando a dispersão dos genótipos, sendo pontos (amostras) e vetores (variáveis).

Figura 10 – Biplot da Análise de Componentes Principais (PCA), pontos (amostras) e vetores (variáveis), mostrando a relação entre os índices de vegetação e as características agrônômicas avaliadas em genótipos de soja. Os dois primeiros componentes principais explicaram 52,5% da variabilidade total dos dados (Dim1 = 37,1% e Dim2 = 15,4%). Observa-se forte correlação entre os índices de vegetação obtidos nas fases R7–R8 (VARI, NGRDI e ExG) e as características produtivas (PESO=PROD, NDM, APM e NV), indicando que o vigor do dossel nas fases finais do ciclo está positivamente associado ao maior desempenho agrônômico das plantas.



Fonte: autoria própria.

Analisando a Figura 10, quanto à estrutura geral, destaca-se que o eixo Dim1 (37,1%) explica a maior parte da variação nos dados e o eixo Dim2 (15,4%) explica uma porção menor, mas ainda relevante. Juntos, esses dois componentes explicam 52,5% da variabilidade total, ou seja, o plano formado por Dim1 e Dim2 representa mais da metade da variação entre as variáveis e genótipos analisados.

Com relação às setas (vetores das variáveis), cada uma representa uma variável (índices de vegetação ou características agrônômicas) sendo que as mais relevantes são: os índices de

vegetação e os caracteres agronômicos. Os índices de vegetação são o ExG_R5_R6, ExG_R6_R7, ExG_R7_R8 (Excess Green Index); o VARI_R5_R6, VARI_R6_R7, VARI_R7_R8 (Visible Atmospherically Resistant Index) e o NGRDI_R5_R6, NGRDI_R6_R7, NGRDI_R7_R8 (Normalized Green-Red Difference Index). Os caracteres agronômicos são PROD (produtividade de grãos), NDM (número de dias para maturação), APM (altura de planta na maturação) e NV (número de vagens).

Sobre as relações entre as variáveis, as setas VARI_R7_R8, NGRDI_R7_R8 e ExG_R7_R8 estão muito próximas e apontam na mesma direção evidenciando forte correlação positiva entre os índices de vegetação obtidos no estágio R7-R8, indicando que todos captam de forma semelhante o vigor do dossel nessa fase.

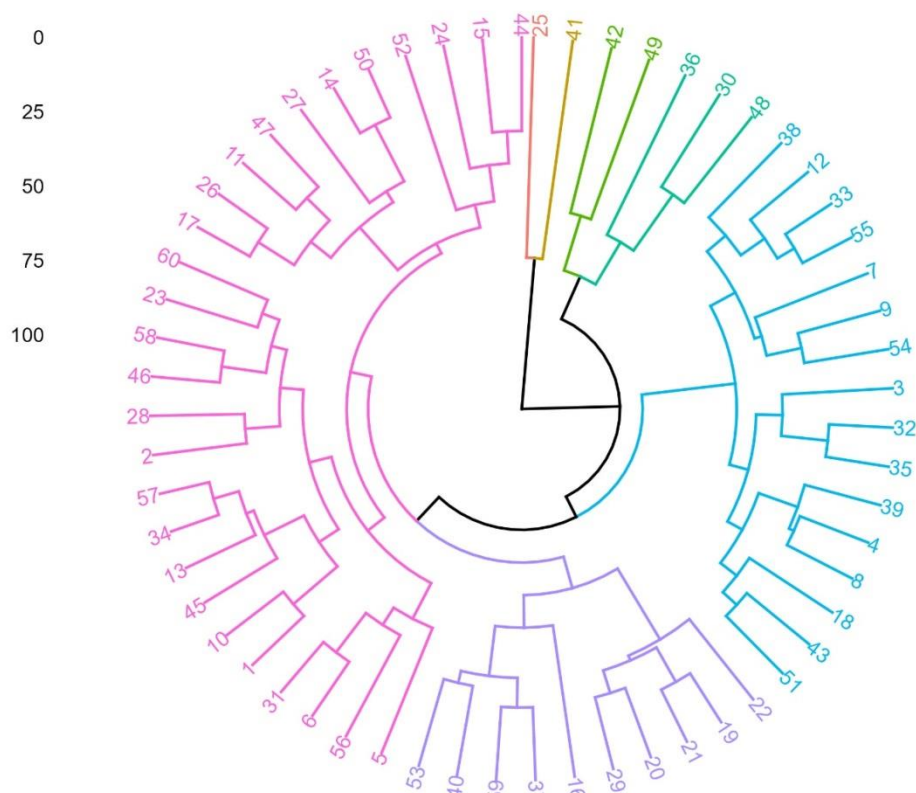
Já as variáveis PROD, APM e NV também estão fortemente associadas e na mesma direção dos índices de vegetação de estádios mais avançados (R6–R8), indicando que plantas mais vigorosas nessas fases tendem a ser mais produtivas, como por exemplo a UFUS 1, a UFUS 52, a UFUS 49, a UFUS 48 e a UFUS 38, dentre outras incluindo a cultivar controle 32C (UFUS6901), a qual se destaca individualmente e como parental das melhores linhagens. Já o NDM e os índices de R6–R7 se posicionam entre os dois grupos, mostrando correlação intermediária entre vigor e produtividade. O ExG_R5_R6 está mais centralizado, contribuindo menos para a separação dos componentes principais.

Sobre a distribuição dos pontos (genótipos), cada um representa um genótipo ou tratamento, sendo que os genótipos localizados próximos aos vetores de PROD (PESO), APM e NV apresentam maior produtividade e altura. Já os pontos próximos aos vetores de VARI e NGRDI das fases R7–R8 indicam maior vigor vegetativo nas fases finais. Os genótipos distribuídos mais à esquerda (valores negativos em Dim1) apresentam menor vigor e produtividade.

Dessa forma, o agrupamento das variáveis no presente trabalho reforça o potencial dos índices de vegetação ExG, VARI e NGRDI como indicadores indiretos de desempenho agronômico, especialmente quando avaliados nos estádios R7 e R8. Nestas fases, há maior acúmulo de biomassa e máxima expressão do dossel.

A Figura 11 a seguir apresenta um dendrograma circular (ou radial), usado para representar os resultados de uma análise de agrupamento hierárquico (cluster analysis) — muito comum em estudos de diversidade genética, fenotípica ou agronômica. Observa-se a formação de quatro grupos principais, indicando ampla variabilidade entre os genótipos avaliados. Genótipos dentro de um mesmo grupo apresentam maior similaridade entre si, enquanto grupos distintos demonstram diferenças fenotípicas mais acentuadas.

Figura 11 – Dendrograma circular obtido por análise de agrupamento hierárquico (método UPGMA - método de Grupo de Pares Não Ponderados com Média Aritmética), mostrando a dissimilaridade entre os 60 genótipos de soja com base nos caracteres agrônômicos (APM, NV, PESO=PROD, NDM) e nos índices de vegetação (ExG, VARI e NGRDI) calculados nos diferentes estádios fenológicos (R5 a R8).



Fonte: autoria própria.

Observando a Figura 11, no dendrograma, nota-se a existência de 4 grupos principais de diversidade genética, usada para comparar o grau de diferença genética entre genótipos. A estrutura geral do dendrograma destaca as relações de similaridade entre genótipos de soja, identificados pelos números (1 a 60, aproximadamente). O comprimento dos ramos (galhos) representa o nível de dissimilaridade (ou distância) entre os genótipos, cujos ramos curtos representam genótipos mais semelhantes e os ramos longos representam genótipos mais distintos. A escala à esquerda (de 0 a 100) indica a distância ou dissimilaridade percentual usada no agrupamento.

Quanto às cores, o dendrograma está colorido por grupos, representando conjuntos de genótipos com características semelhantes e assim, destacam-se os principais grupos como o Grupo 1 (rosa) dos Genótipos UFUS 1, UFUS 2, UFUS 6, UFUS 10, UFUS 11, UFUS 13,

UFUS 14, UFUS 15, UFUS 23, UFUS 24, 26C, 27C, 28C, UFUS 31, UFUS 34, UFUS 45, UFUS 46, 50C, UFUS 52, 56C, 57C, 58C, 60C, entre outros. Este grupo agrupa genótipos com alta similaridade fenotípica, possivelmente com comportamento vegetativo ou produtivo semelhante. Já o Grupo 2 (roxo) dos Genótipos 16C, UFUS 29, UFUS 37, UFUS 40, 53C, 59C, entre outros, apresentam características intermediárias entre os demais grupos, com variação moderada entre si. O Grupo 3 (verde) dos Genótipos UFUS 42 e UFUS 49, um Grupo reduzido, mas bem distinto, indica genótipos geneticamente ou fenotipicamente diferenciados. Por fim, o Grupo 4 (azul) dos Genótipos UFUS 3, 4C, UFUS 7, UFUS 8, UFUS 9, UFUS 12, UFUS 18, 32C, UFUS 33, UFUS 35, UFUS 38, 39C, UFUS 43, 54C, 55C, entre outros, representa genótipos mais semelhantes entre si e diferentes dos demais grupos, possivelmente com padrões de crescimento ou respostas fisiológicas específicas.

Os grupos destacados em rosa e roxo englobam genótipos com semelhantes valores de APM e PROD, e menores índices de vegetação, indicando menor dossel. Já os grupos em verde e azul reúnem genótipos não somente apresentando maiores valores para os índices VARI e NGRDI, especialmente nos estádios R7 e R8, mas também demonstrando maior fechamento do dossel e provável maior eficiência fotossintética, características estas associadas à produtividade. Salienta-se que os gráficos biplot e o dendrograma foram gerados a partir dos valores de caracteres agrônômicos e índices de vegetação de todos os genótipos do experimento de 30/12/2024, conforme Figura 9 e 10 (biplot 1 e 2).

Dessa forma, o padrão de agrupamento obtido no presente trabalho reforça que os índices de vegetação RGB e as variáveis agrônômicas tradicionais são ferramentas complementares e eficientes para distinguir genótipos de soja com diferentes desempenhos fisiológicos e produtivos. Consequentemente, confirma-se o potencial da fenotipagem por imagem digital no apoio ao melhoramento genético.

Com a finalidade de se predizer os valores genéticos, a metodologia BLUP foi aplicada, e os resultados detalhados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8, as quais apresentam cada um dos 60 genótipos avaliados, bem como os caracteres agrônômicos estudados como (APM) altura da planta na maturação, (NDM) Número de dias para maturação, (NV) número de vagens e (PROD) produtividade de grãos, bem como os índices de vegetação VARI, ExG e NGRDI nos estádios fenológicos R5, R6, R7 e R8.

A Tabela 5 a seguir apresenta valores de Blup dos caracteres agrônômicos avaliados nesta pesquisa.

Tabela 5 – Valores BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) para 60 genótipos de soja, para os caracteres agrônômicos APM, NDM, NV e PROD.

ID	genótipo	BLUP APM	BLUP NDM	BLUP NV	BLUP PROD
1	UFUS 1	-6.917720454	2.812210132	-1.766160631	-3.539676131
2	UFUS 2	-9.741279823	-1.336952358	-0.219158618	-16.19669987
3	UFUS 3	0.141177968	-2.720006521	-1.929002949	-1.179892044
4	C4	-8.329500139	-6.869169011	-1.013014915	10.61902839
5	UFUS 5	-1.270601716	-1.336952358	-1.969713528	-5.470408567
6	UFUS 6	1.552957653	1.429155969	1.490685712	-18.55648396
7	UFUS 7	7.200076391	1.429155969	-1.135146652	33.57329179
8	UFUS 8	1.552957653	4.195264295	0.147236595	17.69838066
9	UFUS 9	8.611856076	-1.336952358	1.246422236	32.50066266
10	UFUS 10	-4.094161085	-2.720006521	1.857080925	-11.90618335
11	UFUS 11	0.141177968	-2.720006521	-0.341290356	-2.896098653
12	UFUS 12	8.611856076	-2.720006521	-0.70768557	23.06152631
13	UFUS 13	-8.329500139	-4.103060685	3.689056993	-1.608943696
14	UFUS 14	-1.270601716	-2.720006521	-1.501541866	16.62575153
15	UFUS 15	0.141177968	-1.336952358	-1.806871211	12.335235
16	C16	-6.917720454	-2.720006521	-2.295398162	-12.97881248
17	UFUS 17	7.200076391	-2.720006521	0.269368333	3.968727784
18	UFUS 18	14.25897481	-2.720006521	0.147236595	7.186615176
19	UFUS 19	-2.682381401	-1.336952358	-0.015605722	-34.21686927
20	UFUS 20	-1.270601716	-2.720006521	-2.600727507	-35.71855005
21	UFUS 21	-13.97661888	-2.720006521	-1.318344259	-32.92971431
22	UFUS 22	-13.97661888	-1.336952358	-3.028188589	-30.56993023
23	UFUS 23	7.200076391	-1.336952358	-1.806871211	-12.335235
24	UFUS 24	-11.15305951	-4.103060685	-2.173266424	-7.615666828
25	C25	-6.917720454	-4.103060685	-0.951949046	-58.2437618
26	C26	-4.094161085	-4.103060685	-1.074080784	7.615666828
27	C27	-4.094161085	4.195264295	-0.829817308	24.99225875
28	C28	-1.270601716	-1.336952358	-1.379410128	-28.85372362
29	UFUS 29	0.141177968	4.195264295	-0.585553832	-29.71182692
30	UFUS 30	28.37677166	9.727480949	2.630581932	20.4872164
31	UFUS 31	7.200076391	4.195264295	3.444793517	-12.12070918
32	C32	10.02363576	2.812210132	5.276769585	12.54976083
33	UFUS 33	12.84719513	4.195264295	3.566925255	12.76428666
34	UFUS 34	-8.329500139	-1.336952358	0.941092891	-0.107262913
35	UFUS 35	17.08253418	0.046101805	1.124290498	20.27269057
36	UFUS 36	15.6707545	0.046101805	0.757895284	44.51410893
37	UFUS 37	2.964737338	0.046101805	0.513631809	-2.896098653
38	UFUS 38	15.6707545	1.429155969	5.704230668	21.3453197
39	C39	-9.741279823	-1.336952358	0.635763547	24.13415544
40	UFUS 40	-8.329500139	8.344426786	-3.150320327	-11.90618335
41	C41	-22.44729698	-2.720006521	-3.272452065	-74.97677624
42	UFUS 42	8.611856076	2.812210132	0.391500071	28.85372362
43	UFUS 43	8.611856076	5.578318459	-0.341290356	3.968727784

44	UFUS 44	-1.270601716	4.195264295	1.490685712	4.397779436
45	UFUS 45	-8.329500139	1.429155969	2.223476139	-1.608943696
46	UFUS 46	-9.741279823	0.046101805	-3.272452065	-30.14087857
47	C47	-2.682381401	-2.720006521	-2.4175299	-3.539676131
48	UFUS 48	11.43541544	6.961372622	1.612817449	28.85372362
49	UFUS 49	12.84719513	6.961372622	1.490685712	39.58001492
50	C 50	-8.329500139	-1.336952358	-1.359054839	12.54976083
51	UFUS 51	5.788296707	6.961372622	1.00215876	17.91290648
52	UFUS 52	-1.270601716	6.961372622	0.513631809	17.269329
53	C53	-5.50594077	-1.336952358	-2.051134686	4.397779436
54	C54	8.611856076	-1.336952358	2.467739614	37.86380831
55	C55	7.200076391	1.429155969	3.078398304	15.98217405
56	C56	-8.329500139	-5.486114848	-1.318344259	-11.4771317
57	C57	-2.682381401	0.046101805	1.734949187	-0.107262913
58	C58	-15.38839856	-5.486114848	-0.341290356	-28.42467196
59	C59	-1.270601716	-2.720006521	-0.585553832	-14.90954492
60	C60	-9.741279823	-5.486114848	-0.890883177	-21.13079388

Fonte: autoria própria.

Nota: BLUP APM: Valores positivos: plantas mais altas; negativos: plantas mais baixas; BLUP NDM: Valores positivos: genótipos mais tardios; negativos: precoces. BLUP NV: Positivo: mais vagens; negativo: menos vagens; BLUP PROD: Positivo: mais produtivo; negativo: menos produtivo.

De acordo com a tabela supradescrita, os valores BLUP estimados evidenciaram ampla variabilidade genética entre os genótipos de soja para todos os caracteres avaliados. Observou-se que os genótipos UFUS 36, UFUS 49, UFUS 9 e UFUS 48 apresentaram valores genéticos superiores para produtividade, configurando-se como materiais promissores para seleção direta visando rendimento de grãos. Em contrapartida, os genótipos 41C, 25C e UFUS 20 destacaram-se negativamente, com valores genéticos preditos substancialmente inferiores à média geral. Além disso, verificou-se tendência de associação positiva entre o número de vagens (NV) e a produtividade (PROD), indicando que esse caráter pode ser utilizado como critério auxiliar na seleção indireta. Já a amplitude dos valores BLUP para altura da planta (de -22,45 a 28,37) e número de dias para maturação (de -6,87 a 9,73) reforça a variabilidade genética existente, essencial para o avanço dos programas de melhoramento.

A Tabela 6 apresenta os Blup dos índices de vegetação Vari, ExG e NGRDI nos estádios fenológicos R5-R6.

Tabela 6 – Valores de Blup dos índices de vegetação Vari, ExG e NGRDI nos estádios fenológicos R5-R6.

ID	genótipo	BLUP VARI R5 R6	BLUP ExG R5 R6	BLUP NGRDI R5 R6
1	UFUS 1	0.00981927	6.244821015	-0.000357117
2	UFUS 2	0.022945718	-4.970758871	0.008400355
3	UFUS 3	-0.001901344	2.00624722	-0.00694606
4	C4	0.01237635	-2.667024336	0.001606448
5	UFUS 5	-0.007657575	-4.963391186	0.002460468
6	UFUS 6	0.017011757	-2.839368454	0.024516071
7	UFUS 7	0.034568661	-3.274199583	0.036134855
8	UFUS 8	0.007023616	-4.027852279	0.012481892
9	UFUS 9	-0.006799344	-1.413228497	0.002445438
10	UFUS 10	-0.033465343	3.694148761	-0.018709685
11	UFUS 11	-0.013226468	4.626410164	-0.009631101
12	UFUS 12	-0.012627628	2.010829743	-0.006074275
13	UFUS 13	-0.031913803	-1.166905895	-0.016695562
14	UFUS 14	-0.034016148	0.946859913	-0.023802383
15	UFUS 15	0.051504308	3.256296894	0.027109562
16	C16	0.016409714	-2.164795906	0.008726932
17	UFUS 17	-0.026274458	-0.234015042	-0.016552087
18	UFUS 18	0.009162788	0.822985962	0.002972881
19	UFUS 19	0.012832685	2.259648334	0.005033463
20	UFUS 20	-0.035716598	-2.476154436	-0.019712648
21	UFUS 21	-0.036594043	2.447753015	-0.020827657
22	UFUS 22	-0.00846777	1.014308942	-0.003859286
23	UFUS 23	0.002236097	-0.729266545	0.004251863
24	UFUS 24	-0.039440935	5.617246592	-0.030894173
25	C25	-0.012403463	0.263467582	-0.010183141
26	C26	-0.02406003	1.260484465	-0.015621546
27	C27	-0.027449722	2.382331315	-0.01815628
28	C28	-0.029856291	-2.411264964	-0.013909405
29	UFUS 29	-0.014771604	-0.607987674	-0.009516321
30	UFUS 30	0.005107007	-1.775024071	0.026429078
31	UFUS 31	0.043818659	0.26514217	0.026873169
32	C32	-0.023299471	3.377128294	-0.018842229
33	UFUS 33	-0.01121539	1.387917615	-0.006262843
34	UFUS 34	0.044518374	-0.488775394	0.014366203
35	UFUS 35	-0.019724044	2.887389155	-0.006404952
36	UFUS 36	-0.002514595	-5.643313438	0.012193574
37	UFUS 37	0.015420187	-3.901038608	0.021366442
38	UFUS 38	0.002234496	2.751866634	-0.008179949
39	C39	0.007114883	-3.166619669	-0.002166275
40	UFUS 40	-0.042624075	0.201617546	-0.027465791
41	C41	-0.2081041	-9.082939667	-0.117509658
42	UFUS 42	0.005132626	0.261259521	-0.00237534
43	UFUS 43	0.02992845	-2.53352852	0.027213411

44	UFUS 44	-0.041512858	3.938700178	-0.026794872
45	UFUS 45	0.1241481	3.689766915	0.056567135
46	UFUS 46	-0.04024953	-2.105937316	-0.026805804
47	C47	0.013646083	1.137005634	0.005681152
48	UFUS 48	0.061948785	-0.789144096	0.041780958
49	UFUS 49	0.001800577	6.679352376	-0.007369654
50	C 50	-0.00879441	3.251254436	-0.013151034
51	UFUS 51	0.002271323	0.145331601	0.007538135
52	UFUS 52	0.045182862	3.56766041	0.017865639
53	C53	-0.001760441	0.513953905	-0.003040793
54	C54	-0.006863391	2.695653606	-0.004008228
55	C55	0.021773657	-1.34962971	0.021799601
56	C56	0.008125225	-6.899349123	0.006184
57	C57	0.010949701	-0.481236325	0.007934401
58	C58	0.03473038	0.451815319	0.019020276
59	C59	0.072249155	-3.347793542	0.036701925
60	C60	0.057313378	-0.546112085	0.026170822

Fonte: autoria própria.

Nota: BLUP Vari R5-R6: Valores positivos: maior vigor e área foliar verde; negativos: menor cobertura, ExG R5-R6: Valores positivos: maior intensidade de verde e NGRDI R5-R6: Positivo: vegetação mais densa e sadia; negativo: senescência ou estresse.

Observando-se a Tabela 6, destaca-se a evidência da ampla variação entre os genótipos dos valores BLUP dos índices de vegetação (VARI, ExG e NGRDI) calculados entre os estádios R5 e R6, indicando diferenças quanto ao vigor vegetativo e à intensidade de coloração verde. Os genótipos UFUS 45, UFUS 48, UFUS 15, UFUS 52 e 59C apresentaram os maiores valores positivos, refletindo elevado vigor e potencial fotossintético, enquanto os genótipos 41C, UFUS 40, UFUS 44 e UFUS 46 exibiram os menores valores, caracterizando-se por menor cobertura foliar e possível início de senescência. De forma geral, observou-se correspondência entre os índices de vegetação e o desempenho produtivo dos genótipos, sugerindo a utilização de tais variáveis derivadas de imagens RGB como indicadores auxiliares na seleção indireta de genótipos mais produtivos.

A Tabela 7 apresenta os Blup dos índices de vegetação Vari, ExG e NGRDI nos estádios fenológicos R6-R7.

Tabela 7 - Valores de Blup dos índices de vegetação Vari e NGRDI nos estádios fenológicos R6-R7.

ID	genótipo	BLUP VARI R6 R7	BLUP NGRDI R6 R7
1	UFUS 1	0.110301244	0.060063131
2	UFUS 2	-0.02183461	-0.01863193
3	UFUS 3	0.049771275	0.037956909

4	C4	-0.010141935	-0.011087751
5	UFUS 5	0.001666624	0.004686634
6	UFUS 6	0.0092583	0.001589855
7	UFUS 7	0.014340448	0.02004833
8	UFUS 8	0.034666466	0.026718893
9	UFUS 9	0.033623511	0.017035161
10	UFUS 10	-0.014311177	-0.004938142
11	UFUS 11	-0.004721149	-0.000303157
12	UFUS 12	-0.012889669	-0.004899553
13	UFUS 13	-0.030242623	-0.018312497
14	UFUS 14	-0.023598619	-0.009411267
15	UFUS 15	0.033006752	0.021302477
16	C16	-0.028364018	-0.013779344
17	UFUS 17	-0.042289388	-0.027505289
18	UFUS 18	-0.020330696	-0.013946564
19	UFUS 19	0.019690417	0.015450862
20	UFUS 20	-0.046878386	-0.025222098
21	UFUS 21	-0.064224902	-0.037464505
22	UFUS 22	-0.03836994	-0.019211839
23	UFUS 23	-0.021050463	-0.014657248
24	UFUS 24	-0.062064313	-0.036678787
25	C25	-0.051511162	-0.032513303
26	C26	0.0071196	0.008387976
27	C27	0.04233926	0.026170069
28	C28	-0.054167477	-0.033451234
29	UFUS 29	0.029904929	0.023140821
30	UFUS 30	0.001573917	0.003021941
31	UFUS 31	0.024202159	0.009160831
32	C32	0.010082362	0.014492565
33	UFUS 33	0.019995577	0.00803853
34	UFUS 34	-0.044516932	-0.025732332
35	UFUS 35	0.016737955	0.020035467
36	UFUS 36	-0.031339656	-0.015560877
37	UFUS 37	-0.008656047	-0.00137615
38	UFUS 38	-0.011335538	-0.010631113
39	C39	-0.003705234	-0.00023777
40	UFUS 40	0.097148433	0.052839457
41	C41	-0.121847476	-0.068071057
42	UFUS 42	-9.87E-05	0.005887185
43	UFUS 43	-0.026256221	-0.015580171
44	UFUS 44	-0.005555512	-0.006367013
45	UFUS 45	0.035663066	0.010630434
46	UFUS 46	-0.024212803	-0.01795662
47	C47	0.015930631	0.013241633
48	UFUS 48	0.017434545	0.009609966
49	UFUS 49	-0.001910323	-0.002318368

50	C 50	-0.012617986	-0.007118429
51	UFUS 51	-0.018777853	-0.010746881
52	UFUS 52	0.071339824	0.026714605
53	C53	0.030508813	0.018593733
54	C54	0.020514479	0.013215907
55	C55	-0.010886167	-0.00507642
56	C56	-0.005552937	-0.005435513
57	C57	0.006777099	0.001820318
58	C58	0.100581168	0.04106548
59	C59	0.029840549	0.014883816
60	C60	-0.009759519	-0.011579763

Fonte: autoria própria.

Nota: BLUP Vari R6-R7: Valores positivos: maior vigor e área foliar verde; negativos: menor cobertura, R6-R7: Positivo: vegetação mais densa e sadia; negativo: senescência ou estresse.

Já entre os estádios R6 e R7, os valores BLUP dos índices de vegetação indicaram diferenças marcantes entre os genótipos quanto à manutenção do vigor vegetativo e à taxa de senescência. Os genótipos UFUS 1, UFUS 40, UFUS 52, 58C e UFUS 45 destacaram-se com valores positivos de VARI e NGRDI, evidenciando maior duração de área foliar verde e potencial fotossintético prolongado. Em contrapartida, os genótipos 41C, UFUS 21, UFUS 24 e 25C apresentaram valores negativos, caracterizando senescência precoce. Essa tendência está em consonância com os resultados de produtividade, sugerindo a empregabilidade dos índices de vegetação obtidos por imagens RGB como preditores indiretos do desempenho agrônomo, especialmente na fase final do ciclo.

A Tabela 8 apresenta os Blup dos índices de vegetação Vari, ExG e NGRDI nos estádios fenológicos R7-R8.

Tabela 8 - Valores de Blup dos índices de vegetação Vari, ExG e NGRDI nos estádios fenológicos R7-R8.

ID	genótipo	BLUP VARI R7 R8	BLUP ExG R7 R8	BLUP NGRDI R7 R8
1	UFUS 1	0.024368809	-1.822185915	0.0101446
2	UFUS 2	-0.06319048	-1.937966332	-0.034991487
3	UFUS 3	-0.061277196	-7.694295875	-0.032756293
4	C4	-0.098907959	-7.227279765	-0.05679551
5	UFUS 5	-0.018034785	5.593686207	-0.009084993
6	UFUS 6	0.04120131	5.81943208	0.018200201
7	UFUS 7	0.064306013	-1.692112937	0.043364927
8	UFUS 8	-0.026523074	-8.978102009	-0.015659035
9	UFUS 9	0.023323645	-6.594814253	0.025513044
10	UFUS 10	-0.029819734	-1.208789084	-0.016753885
11	UFUS 11	-0.036006466	2.912693414	-0.020230304

12	UFUS 12	-0.046003893	-3.440649367	-0.023062869
13	UFUS 13	-0.037593747	-0.06230233	-0.020830642
14	UFUS 14	-0.044928205	1.038301871	-0.024896519
15	UFUS 15	0.00401987	7.829097481	0.002381751
16	C16	-0.03154987	-8.545176513	-0.019381722
17	UFUS 17	-0.011666127	7.889089341	-0.006490783
18	UFUS 18	0.008190755	-8.065219185	0.008028089
19	UFUS 19	0.025792477	1.638028718	0.014556636
20	UFUS 20	-0.058881623	5.584682513	-0.03434071
21	UFUS 21	-0.03360723	4.064427772	-0.020259975
22	UFUS 22	-0.036352005	8.372492077	-0.022637589
23	UFUS 23	-0.053614293	-1.700336893	-0.0274393
24	UFUS 24	-0.014402354	0.975632811	-0.006592653
25	C25	-0.03324826	0.909549896	-0.020174919
26	C26	0.001288526	8.307604558	-0.002084681
27	C27	0.02471801	6.250457687	0.013594316
28	C28	-0.024326522	0.06644661	-0.011652499
29	UFUS 29	0.031201442	2.852166357	0.016705785
30	UFUS 30	0.05443801	3.943315405	0.031590596
31	UFUS 31	0.015585041	5.222813868	0.013363873
32	C32	-0.061885247	-8.980860521	-0.031173855
33	UFUS 33	0.023653311	-2.305174207	0.013297609
34	UFUS 34	0.036577439	-4.186774531	0.021268153
35	UFUS 35	-0.039900188	-7.46040857	-0.023341774
36	UFUS 36	-0.052130796	-0.659869577	-0.030694178
37	UFUS 37	0.006327532	-2.186148018	-0.001206428
38	UFUS 38	0.054727384	-0.723966436	0.033489523
39	C39	-0.010970165	-8.800017825	-0.014365392
40	UFUS 40	0.076784481	-0.239493912	0.048546424
41	C41	-0.028094482	0.363468998	-0.015247601
42	UFUS 42	-0.008849314	10.31297564	-0.006923976
43	UFUS 43	0.026184414	-12.84949019	0.02924661
44	UFUS 44	0.055525908	3.157484303	0.032744787
45	UFUS 45	0.086824642	-1.82518836	0.042852613
46	UFUS 46	0.039252618	1.581773531	0.016829413
47	C47	-0.025945548	4.791860471	-0.015486945
48	UFUS 48	0.063301142	8.311920117	0.034646681
49	UFUS 49	0.064788302	6.610431902	0.032827865
50	C50	0.0395774	0.004161655	0.026430858
51	UFUS 51	0.001477779	-12.01291364	0.001476794
52	UFUS 52	0.075343718	11.58246251	0.030945753
53	C53	0.024285782	1.578390622	0.011505497
54	C54	0.015655858	-6.60630704	0.013809923
55	C55	-0.049244387	-2.720194865	-0.028848659
56	C56	-0.004082588	6.493792256	-0.003074694
57	C57	0.056634563	-4.068701624	0.029883541

58	C58	-0.014469509	1.938787777	-0.011117437
59	C59	0.028779007	0.301031735	0.013290686
60	C60	-0.038629142	-1.703720409	-0.022939241

Fonte: autoria própria.

Nota: BLUP Vari R7-R8: Valores positivos: maior vigor e área foliar verde; negativos: menor cobertura, ExG R7-R8: Valores positivos: maior intensidade de verde e NGRDI R7-R8: Positivo: vegetação mais densa e sadia; negativo: senescência ou estresse.

Observando a Tabela 8, os valores BLUP obtidos entre os estádios R7 e R8 evidenciaram ampla variação entre os genótipos para os índices de vegetação derivados das imagens RGB. Os genótipos UFUS 40, UFUS 45, UFUS 48, UFUS 49 e UFUS 52 destacaram-se com valores positivos de VARI e NGRDI, indicando maior vigor foliar e atraso na senescência, sugerindo potencial fotossintético elevado durante o enchimento de grãos. Em contrapartida, genótipos como 4C, UFUS 3, 32C e UFUS 36 apresentaram valores negativos, refletindo perda antecipada de coloração verde e provável maturação precoce. Esses resultados demonstram a eficiência dos índices de vegetação na diferenciação do comportamento fisiológico entre genótipos de soja na fase final do ciclo, corroborando seu uso como ferramenta de fenotipagem para seleção indireta em programas de melhoramento.

Neste sentido, a análise dos valores BLUP dos caracteres agronômicos e dos índices de vegetação obtidos ao longo dos estádios reprodutivos da soja evidenciou ampla variabilidade genética entre os genótipos avaliados. Os resultados demonstraram coerência entre o desempenho agronômico e os índices derivados das imagens RGB, indicando que genótipos com maiores valores genéticos preditos para produtividade, como UFUS 36, UFUS 49, UFUS 7 e UFUS 9, também apresentaram elevados valores de VARI e NGRDI, sobretudo nas fases R6–R7 e R7–R8, refletindo maior desenvolvimento vegetativo e retardamento da senescência. Esse comportamento sugere maior eficiência fotossintética e melhor aproveitamento da radiação durante o enchimento de grãos.

Por outro lado, genótipos com valores BLUP negativos para produtividade e índices de vegetação, como 41C, 25C e UFUS 20, apresentaram antecipação da senescência e menor potencial produtivo. De modo geral, a associação positiva entre os caracteres agronômicos e os índices de vegetação confirma o potencial do uso de imagens RGB como ferramenta de fenotipagem para estimar o desempenho fisiológico e produtivo em programas de melhoramento genético de soja, contribuindo para uma seleção mais eficiente e de menor custo.

4 Conclusão

Os índices de vegetação VARI e NGRDI nos estádios R7_R8 apresentaram forte relação com os caracteres agrônômicos estudados, demonstrando potencial para uso na seleção indireta de genótipos promissores.

A análise de componentes principais (PCA) permitiu identificar a contribuição dos índices de vegetação nos diferentes estádios fenológicos, evidenciando que as correlações mais expressivas ocorreram nos estádios reprodutivos mais avançados de R6 a R8.

O dendrograma da análise de agrupamento revelou a existência de quatro grupos principais distintos de genótipos, indicando variabilidade genética e fenotípica significativa entre os materiais avaliados. Este fator apresenta-se essencial para o avanço do melhoramento genético da cultura.

O uso de imagens RGB e índices de vegetação constituem ferramentas promissoras para o monitoramento do desenvolvimento da soja e para a aceleração do processo seletivo em programas de melhoramento.

5 Referências:

ALVES, A. K. S. **Fenotipagem de alto rendimento no melhoramento da soja**. 2024. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2024. Disponível em <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/6af31afd-ae8a-413c-9d9c-70b7a6e1f755/content>. Acesso em 01 mar. 2025.

ALVES, A. K. S.; ARAUJO, M. S.; CHAVES, S. F. S.; DIAS, L. D. S.; CORREDO, L. P.; PESSOA, G. G. F. A.; BEZERRA, A. High throughput phenotyping in soybean breeding using RGB image vegetation indices based on drone. **Scientific Reports**. London, v. 14, 32055, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83807-4>. Disponível em: [nature.com/scientific reports](https://www.nature.com/scientificreports). Acesso em: 12 out. 2025.

CLASSIFICAÇÃO climática de Köppen para os municípios brasileiros. [2025]. Disponível em: <https://koppenbrasil.github.io/>. Acesso em: 11 out. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Safra de grãos 2024/25 é estimada em 345,2 milhões de toneladas com recorde na produção de milho e soja**. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/safra-de-graos-2024-25>. Acesso em: 07 out. 2025.

COSTA, T. R. S.; AZEVEDO, M. C. de; COSTA, J. E.; SOUSA, V. F. O.; SILVA, A. V.; MIELEZRSKI, F. Índices vegetais fotogramétricos no milho em sucessão a plantas de cobertura do solo em Areia, Paraíba (Brasil). **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 7, e7510716403, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16403>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/352495065_Indices_vegetais_fotogrametricos_no_

milho_em_sucessao_a_plantas_de_cobertura_do_solo_em_Areia_Paraiba_Brasil . Acesso em: 01 out. 2025.

EMBRAPA. **Região Centro-Oeste**. Brasília, DF: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/contando-ciencia/regiao-centro-oeste>. Acesso em: 24 jun. 2025.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of Soybean Development**. Ames: Iowa State University, 1977. (Special Report, 80). Disponível em: <https://dr.lib.iastate.edu/bitstreams/13bd0d8f-66ff-4d0e-a0e3-a70c2c47f6f3/download>. Acesso em: 1 mar. 2024.

GITELSON, A. A. et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, Gainesville, v. 80, n. 1, p. 76–87, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425701002899>. Acesso em: 15 jun. 2025.

GUTIERREZ-RODRIGUEZ, M., ESCALANTE-ESTRADA, J. A., RODRIGUEZ-GONZALEZ, M. T. Canopy reflectance, stomatal conductance, and yield of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus coccineus* L. under saline field conditions. **International Journal of Agriculture & Biology**, Faisalabad, v. 7, n. 3, p. 491-494, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265890430_Canopy_Reflectance_Stomatal_Conductance_and_Yield_of_Phaseolus_vulgaris_L_and_Phaseolus_coccineus_L_Under_Saline_Field_Conditions. Acesso em: 30 abr. 2025.

LEPSCH, Igo F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

MARCIAL-PABLO, M. J.; GONZALEZ-SANCHEZ, A.; JIMENEZ-JIMENEZ, S. I.; ONTIVEROS-CAPURATA, R. E.; OJEDA-BUSTAMANTE, W. Estimation of vegetation fraction using RGB and multispectral images from UAV. **International Journal of Remote Sensing**, Oxford, v. 40, n. 2, p. 420-438. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1528017>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329456444_Estimation_of_vegetation_fraction_using_RGB_and_multispectral_images_from_UAV. Acesso em: 15 jun. 2025.

MATIAS, F. I.; VOLPATO, L.; FIRIGATO, J. O. Fenômica. In: RESENDE, R. T.; BRONDANI, C. (ed.). **Melhoramento de precisão: aplicações e perspectivas na genética de plantas**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. cap. 9, p. 227-254. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1155985/melhoramento-de-precisao-aplicacoes-e-perspectivas-na-genetica-de-plantas>. Acesso em: 15 jun. 2025.

MEOTTI, G. V.; BENIN, G.; SILVA, R. R.; BECHE, E.; MUNARO, L. B. Épocas de semeadura e desempenho agrônomo de cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v. 47, n. 1, p.14-21, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000100003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/gKwh6tmK85qCnsPSQWDNv9n/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 15 maio 2025.

MIRANDA, M. C. C.; AONO, A. H.; FAGUNDES, T. G., ARDUINI, G. M.; PINHEIRO, J. B. High-throughput phenotyping and machine learning techniques in soybean breeding:

Exploring the potential of aerial imaging and vegetation indices. **Agronomy Journal**, Madison, v. 117, n. 1, p. 1-25, 2025. DOI: [10.1002/agj2.70012](https://doi.org/10.1002/agj2.70012). Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/agj2.70012>. Acesso em: 10 jul. 2025.

NASCIMENTO, D. T. F. Caracterização ambiental do Estado de Goiás e Distrito Federal como insumo à gestão dos recursos hídricos. **Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais**. Iporá, v. 6, n. 2, p.34-50, 2017.

RESENDE, R. T.; BRONDANI, C.; CHAVES, L. J. O Melhoramento na Era de Agricultura de Precisão. In: RESENDE, R. T.; BRONDANI, C. (ed.). **Melhoramento de precisão: aplicações e perspectivas na genética de plantas**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. Cap. 1, p. 13-40. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1155985/melhoramento-de-precisao-aplicacoes-e-perspectivas-na-genetica-de-plantas>. Acesso em: 15 jun. 2025.

SEIXAS, C. D. S. *et al.* (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Sistemas de Produção de Soja, n. 17). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123928/1/SP-17-2020-online-1.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

SILVA, M. H.; ELIAS, A. R.; ROSÁRIO, L. L. Análise da cultura da soja a partir de índices de vegetação (ExG – GLI – TGI – VEG) advindos de imagens RGB obtidas com ARP. **Revista Brasileira de Geomática**. Curitiba, v. 10, n. 2, p. 140-154, abr./jun. 2022. DOI: [10.3895/rbgeo.v10n2.15042](https://doi.org/10.3895/rbgeo.v10n2.15042). Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/15042>. Acesso em: 20 jul. 2025.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**. Gainesville, v. 8, p. 127-150, 1979. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0034425779900130>. Acesso em: 20 jul. 2025.

VIANNA, M. S.; MATIAS, F. I.; GALLI, G.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, M.; PINHEIRO, J. B. Using red–green–blue vegetation indices to evaluate complex agronomical traits in soybean breeding. **Agronomy Journal**. Madison, v. 117, e21723, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.21723>. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/agj2.21723>. Acesso em: 20 jul. 2025.

VILELA, N. J. D., FERRAZ, M. A. J., BRUZI, A. T., VILELA, G. L. D. e FERRAZ, G. A. S. Association of UAV-based vegetation indices with soybean yield and disease severity. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 23, n. 3, p. 1-17. 2024. DOI: [DOI:10.4238/gmr2380](https://doi.org/10.4238/gmr2380). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/387549015_Association_of_UAV-based_vegetation_indices_with_soybean_yield_and_disease_severity. Acesso em: 05 out. 2025.

WALLACE, J. G.; RODGERS-MELNICK, E.; BUCKLER, E. S. (2018). On the road to breeding 4.0: Unraveling the good, the bad, and the boring of crop quantitative genomics. **Annual review of genetics**, San Mateo v. 52, p. 421–444. <https://doi.org/10.1146/annurev->

[genet-120116-024846](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30285496/). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30285496/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

WOEBBECKE, D. M. et al. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph v. 38, p. 259-269, 1995. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.27838>. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=27838&CID=t1995&v=38&i=1&T=1> Acesso em: 30 jul. 2025.

APÊNDICE B

Tabelas extras do capítulo 2

Tabela 1A (tabela 3E capítulo1). Valores de máximos e mínimos das médias de caracteres agrônômicos (NDM, APM e PROD) dos genótipos de soja semeado em 30/12/2024 (ambiente 5), por meio do teste comparativo de médias Scott-Knott.

GENOTIPO	IDENTIFICAÇÃO	NDM		APM		PROD	
1	(6901 x TMG 801) X TMG 801	126.00	b	55.00	c	168.33	a
2	(6901 x TMG 801) X TMG 801	121.00	c	51.67	c	148.67	b
3	(6901 x TMG 801) X TMG 801	119.33	c	63.33	b	172.00	a
4	GUEPARDO	114.33	c	53.33	c	190.33	a
5	(6901 x TMG 801) X TMG 801	121.00	c	61.67	b	165.33	a
6	(6901 x TMG 801) X TMG 801	124.33	b	65.00	b	145.00	b
7	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	124.33	b	71.67	a	226.00	a
8	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	127.67	b	65.00	b	201.33	a
9	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	121.00	c	73.33	a	224.33	a
10	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	119.33	c	58.33	b	155.33	b
11	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	119.33	c	63.33	b	169.33	a
12	(6901 X TMG 801) X UFUS 6901	119.33	c	73.33	a	209.67	a
13	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	117.67	c	53.33	c	171.33	a
14	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	119.33	c	61.67	b	199.67	a
15	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	121.00	c	63.33	b	193.00	a
16	STINE77AEA40	119.33	c	55.00	c	153.67	b
17	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	119.33	c	71.67	a	180.00	a
18	(6901 X BRSGO 7560) X UFUS 6901	119.33	c	80.00	a	185.00	a
19	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	121.00	c	60.00	b	120.67	b
20	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	119.33	c	61.67	b	118.33	b
21	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	119.33	c	46.67	c	122.67	b
22	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	121.00	c	46.67	c	126.33	b
23	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	121.00	c	71.67	a	154.67	b
24	(6901 X BRSGO 7560) X BRSGO 7560	117.67	c	50.00	c	162.00	b
25	BRSGO 7560	117.67	c	55.00	c	83.33	b
26	BONUS	117.67	c	58.33	b	185.67	a
27	TMG 801	127.67	b	58.33	b	212.67	a
28	TORMENTA	121.00	c	61.67	b	129.00	b
29	BR57380RR/TMG1179RR-RC1P1	127.67	b	63.33	b	127.67	b
30	UFUS6901/TMG801-RC1P2	134.33	a	96.67	a	205.67	a

31	BRS7380RR/TMG1179RR	127.67	b	71.67	a	155.00	b
32	UFUS6901	126.00	b	75.00	a	193.33	a
33	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P1	127.67	b	78.33	a	193.67	a
34	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	121.00	c	53.33	c	173.67	a
35	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	122.67	c	83.33	a	205.33	a
36	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P2	122.67	c	81.67	a	243.00	a
37	BRS7380RR/TMG1179RR	122.67	c	66.67	a	169.33	a
38	BRS7380RR/TMG1179RR	124.33	b	81.67	a	207.00	a
39	TMG1179RR	121.00	c	51.67	c	211.33	a
40	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	132.67	a	53.33	c	155.33	b
41	BRS 284	119.33	c	36.67	c	57.33	b
42	UFUS6901/BRSGO7560-RC1P1	126.00	b	73.33	a	218.67	a
43	TMG801/BMX_DESAFIO	129.33	a	73.33	a	180.00	a
44	TMG801/BMX_DESAFIO	127.67	b	61.67	b	180.67	a
45	BRS7380RR/TMG1179RR	124.33	b	53.33	c	171.33	a
46	BRS7380RR/TMG1179RR-RC1P2	122.67	c	51.67	c	127.00	b
47	BRS 7580	119.33	c	60.00	b	168.33	a
48	TMG801/BMX_DESAFIO	131.00	a	76.67	a	218.67	a
49	TMG801/BMX_DESAFIO	131.00	c	78.33	a	235.33	a
50	LG 60174 IPRO	121.00	a	53.33	c	193.33	a
51	UFUS6901/TMG801-RC1P2	131.00	a	70.00	a	201.67	a
52	TMG801/BMX_DESAFIO-RC1P2	131.00	a	61.67	b	200.67	a
53	OLIMPO	121.00	c	56.67	b	180.67	a
54	HO COARI I 2X	121.00	c	73.33	a	232.67	a
55	HO MUTUM I 2X	124.33	b	71.67	a	198.67	a
56	HO PRATA I 2X	116.00	c	53.33	c	156.00	b
57	HO GUAPO I 2X	122.67	c	60.00	b	173.67	a
58	HO CORUMBA IPRO	116.00	c	45.00	c	129.67	b
59	HO APORE IPRO	119.33	c	61.67	b	150.67	b
60	HO IGUAÇU IPRO	116.00	c	51.67	c	141.00	b

Fonte: autoria própria.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 1B – Índices de vegetação Vari, ExG e NGRDI nos estádios fenológicos R5-R6, R6-R7 e R7-R8 dos genótipos de soja semeado em 30/12/2024.

rep	genótipo	voo 19/03/2025 R5-R6			voo 02/04/2025 R6-R7			voo 10/04/2025 – R7-R8		
		VARI	ExG	NGRDI	VARI	ExG	NGRDI	VARI	ExG	NGRDI
1	1	0.38750	222.72223	0.23846	0.70455	283.64798	0.32180	0.37209	240.71078	0.22069
2	1	0.34426	169.69934	0.19626	0.42268	123.81699	0.32800	-0.24468	29.78658	-0.17829
3	1	0.33088	170.74460	0.21739	0.46154	79.93333	0.42857	0.55882	206.78813	0.40860
1	2	0.53398	168.71193	0.31792	0.34146	231.69159	0.18919	0.09005	159.83492	0.07224
2	2	0.36449	143.72766	0.22807	0.13812	160.78914	0.10121	-0.17568	106.75227	-0.11782
3	2	0.24615	70.76423	0.17021	0.08297	204.74004	0.05382	0.05474	208.79025	0.04021
1	3	0.34211	151.71924	0.20856	0.65432	130.82401	0.51456	-0.05183	188.80943	-0.03963
2	3	0.28369	183.69859	0.16129	0.22111	211.75844	0.15068	-0.13636	41.78947	-0.10000
3	3	0.36364	159.73726	0.23404	0.24324	140.87000	0.20690	0.17297	149.91479	0.15686

1	4	0.23932	136.72243	0.14737	0.07965	201.73840	0.05143	-0.05455	189.67973	-0.02885
2	4	0.38298	131.71559	0.23077	0.12108	180.82890	0.09609	-0.27350	31.78818	-0.20000
3	4	0.45631	151.73094	0.28834	0.45263	144.70924	0.26708	0.00463	166.74216	0.00302
1	5	0.34188	147.74893	0.22727	0.24454	278.70779	0.14359	0.14612	177.86378	0.12308
2	5	0.30769	120.77660	0.21918	0.11885	223.75523	0.08033	-0.05382	184.85229	-0.04450
3	5	0.30392	114.79651	0.22628	0.38168	148.89697	0.33784	0.24664	236.78227	0.17799
1	6	0.39286	140.79787	0.29333	0.18681	202.71361	0.11184	0.29730	180.73718	0.19130
2	6	0.29268	136.79427	0.21687	0.19298	97.89041	0.16923	0.15837	220.74393	0.10386
3	6	0.42202	139.81143	0.32394	0.42424	243.71100	0.25180	0.36842	201.73750	0.23729
1	7	0.49485	142.75935	0.33803	0.28866	204.83449	0.23140	0.17512	215.75896	0.11950
2	7	0.30986	174.74150	0.20183	0.20000	199.81065	0.15328	0.41791	79.89412	0.36842
3	7	0.41250	92.92553	0.37931	0.35484	100.91151	0.32039	0.42029	183.77600	0.29897
1	8	0.40476	102.83871	0.32692	0.62857	109.83018	0.50000	0.17489	226.74722	0.11573
2	8	0.33333	150.70480	0.19372	0.23469	196.81012	0.17969	-0.10112	45.79866	-0.07563
3	8	0.30709	144.78995	0.22543	0.13810	208.73230	0.08761	0.19565	86.81081	0.15000
1	9	0.22013	191.69925	0.12545	0.58333	114.76471	0.40385	-0.03077	142.86111	-0.02581
2	9	0.35714	155.77632	0.25424	0.28218	232.76031	0.19322	0.25806	101.77193	0.18182
3	9	0.38158	92.81148	0.29293	0.12775	224.72745	0.07989	0.45038	154.00000	0.45038
1	10	0.30400	153.73764	0.19588	0.18056	240.71011	0.10685	0.03475	192.78214	0.02507
2	10	0.22857	178.79070	0.16807	0.25926	109.82927	0.20588	0.27434	121.79894	0.20530
3	10	0.25974	189.71039	0.15385	0.18116	115.89204	0.15924	-0.06667	172.81313	-0.05134
1	11	0.34146	153.75519	0.23077	0.13402	170.79042	0.09848	0.06204	205.80580	0.04709
2	11	0.31875	208.71622	0.19245	0.37255	126.78651	0.27143	-0.00629	129.71661	-0.00380
3	11	0.25850	174.72615	0.16102	0.18889	167.81250	0.14530	0.13600	219.79343	0.10059
1	12	0.44531	177.76447	0.30811	0.25316	166.79259	0.18692	-0.02542	221.80103	-0.01911
2	12	0.22517	167.73817	0.14530	0.19824	213.81616	0.15358	-0.06091	98.86347	-0.05128
3	12	0.25197	149.72598	0.15686	0.18062	216.78734	0.13183	0.19620	129.94887	0.18563
1	13	0.28467	165.73380	0.18140	0.23649	153.78682	0.17241	0.20755	208.79445	0.15385
2	13	0.18705	146.73720	0.12037	0.18717	185.76945	0.13109	-0.20084	110.74239	-0.13115
3	13	0.33028	131.76848	0.23077	0.07359	219.71115	0.04370	0.17204	186.75136	0.11511
1	14	0.23490	179.70638	0.13725	0.05628	162.83673	0.04530	-0.02128	183.78775	-0.01554
2	14	0.27397	171.74171	0.17857	0.29012	163.88208	0.25134	0.10638	143.85075	0.08772
3	14	0.28000	126.70834	0.16471	0.20245	172.74623	0.13360	0.03358	196.78755	0.02452
1	15	0.49123	164.77142	0.34568	0.18868	203.79121	0.13889	0.22396	190.80573	0.16996
2	15	0.43571	212.70232	0.25103	0.68000	211.79343	0.50296	0.19524	218.75000	0.13016
3	15	0.39604	137.73933	0.25641	0.11979	187.72749	0.07492	0.10037	226.78197	0.07239
1	16	0.41053	134.72511	0.25490	0.14458	139.83200	0.11538	-0.05714	122.79661	-0.04255
2	16	0.35714	138.77451	0.25316	0.19745	152.79182	0.14554	-0.03676	66.91975	-0.03356
3	16	0.33613	154.72797	0.21053	0.16981	96.80460	0.12857	0.32215	176.77490	0.22857
1	17	0.29600	152.73586	0.18974	0.13065	195.73193	0.08280	0.02281	201.75835	0.01554
2	17	0.27559	166.69185	0.15284	0.11976	162.72876	0.07519	0.16740	216.77481	0.11875
3	17	0.26563	139.78070	0.19101	0.15328	132.75465	0.10345	0.20089	218.79320	0.14851
1	18	0.55844	118.77305	0.39450	0.15484	147.76451	0.10714	0.03378	114.76241	0.02326
2	18	0.21233	170.70738	0.12450	0.21320	229.70914	0.12575	0.28866	96.89431	0.25455
3	18	0.28777	186.68835	0.15748	0.20619	188.80124	0.15504	0.23129	162.74419	0.15179
1	19	0.36449	129.79889	0.27273	0.28395	84.83471	0.22772	0.26380	190.73761	0.16996
2	19	0.44800	195.69350	0.25000	0.34161	203.74770	0.22634	0.05128	185.76712	0.03571
3	19	0.26897	173.72871	0.16883	0.25949	159.83475	0.20812	0.38281	157.80476	0.28994
1	20	0.21583	150.74387	0.14151	0.01481	92.80000	0.01111	-0.00402	181.75670	-0.00272
2	20	0.32000	123.74509	0.21053	0.09821	170.84146	0.07971	-0.03158	169.81737	-0.02452
3	20	0.24242	148.74265	0.15842	0.25503	155.80162	0.19192	0.04000	247.77589	0.02845
1	21	0.23944	157.74825	0.15888	-0.07071	112.79290	-0.05224	0.00521	129.79814	0.00389

2	21	0.33333	178.71704	0.20179	0.22785	159.79700	0.16981	0.08290	199.68884	0.04545
3	21	0.20000	165.77409	0.14163	0.07619	180.75119	0.05096	0.12329	244.80933	0.09424
1	22	0.44167	169.74794	0.29282	0.09091	159.82965	0.07224	-0.02484	234.74174	-0.01619
2	22	0.25676	168.74667	0.16964	0.08333	67.99091	0.08257	-0.07534	160.80165	-0.05670
3	22	0.25000	140.74409	0.16402	0.25989	193.77399	0.18400	0.28910	249.74940	0.19243
1	23	0.37584	191.76324	0.25926	0.09677	114.73485	0.06186	-0.18696	128.71140	-0.11111
2	23	0.29630	135.72131	0.18182	0.20264	252.72299	0.12500	0.19497	145.83264	0.15578
3	23	0.34314	123.77718	0.24476	0.26923	170.78261	0.19444	0.03953	204.74951	0.02632
1	24	0.32192	200.69415	0.18008	0.04636	221.80080	0.03483	0.10870	122.76136	0.07463
2	24	0.21014	167.69167	0.11647	0.09375	211.78572	0.06818	0.19535	193.84790	0.16031
3	24	0.22293	184.71045	0.13208	0.11000	183.74753	0.07285	0.06464	206.78401	0.04683
1	25	0.39655	164.71642	0.23958	0.08559	184.77475	0.06070	-0.02807	190.77040	-0.01970
2	25	0.20833	158.73077	0.13158	0.11165	205.71458	0.06706	0.16949	180.74115	0.11029
3	25	0.31897	143.74370	0.20904	0.13483	173.73796	0.08696	0.07292	150.79268	0.05385
1	26	0.22561	194.70811	0.13262	0.25153	173.78397	0.18222	0.05291	164.72992	0.03333
2	26	0.22759	162.73463	0.14537	0.18705	140.75836	0.12745	0.16810	234.74472	0.11048
3	26	0.39785	125.74603	0.26241	0.34884	145.84865	0.28662	0.27619	244.74881	0.18354
1	27	0.26471	175.69318	0.14754	0.31655	167.75836	0.21569	0.16981	210.75481	0.11465
2	27	0.28148	165.72426	0.17431	0.42105	98.79688	0.31373	0.20976	198.80780	0.15985
3	27	0.28369	159.77220	0.20000	0.32335	196.78114	0.23276	0.30952	200.75926	0.21138
1	28	0.29231	156.74074	0.19000	0.12340	231.72639	0.07692	0.14729	106.84865	0.12102
2	28	0.26613	138.76495	0.18436	-0.00427	195.71043	-0.00253	-0.03810	214.75526	-0.02575
3	28	0.25641	128.76712	0.17857	0.19231	211.75999	0.13158	0.17822	186.80606	0.13534
1	29	0.31429	126.75610	0.21290	0.32584	95.86777	0.27619	0.01463	147.77777	0.01045
2	29	0.26144	190.70619	0.15267	0.37634	118.76878	0.26316	0.41722	206.75250	0.28000
3	29	0.33333	135.74545	0.21951	0.26220	174.79497	0.19457	0.31034	199.78809	0.22689
1	30	0.27607	185.76205	0.18987	0.23301	234.73094	0.14724	0.10653	277.72913	0.06695
2	30	0.22628	140.78423	0.16402	0.14097	232.72125	0.08649	0.33010	121.78453	0.23944
3	30	0.53086	107.93549	0.49425	0.37037	123.86487	0.31250	0.49587	172.78673	0.36145
1	31	0.28743	205.72629	0.17910	0.25510	243.70416	0.14793	0.24490	145.83258	0.19565
2	31	0.74648	129.77100	0.52475	0.41667	145.76213	0.28662	0.01027	234.73175	0.00651
3	31	0.24107	131.72047	0.14754	0.24832	164.75778	0.16895	0.35912	212.82207	0.28139
1	32	0.23529	163.70732	0.13793	0.10270	180.71765	0.06230	0.00000	113.76768	0.00000
2	32	0.43750	189.71622	0.26415	0.55556	101.87500	0.47619	-0.33333	24.72826	-0.20896
3	32	0.18301	163.72836	0.11475	0.15217	204.80263	0.11475	0.31313	220.81529	0.24219
1	33	0.27419	141.75833	0.18681	0.08370	202.74098	0.05444	0.28571	118.82558	0.22535
2	33	0.36296	180.72882	0.22791	0.64463	206.75314	0.43333	0.21359	123.69732	0.12088
3	33	0.29412	162.74638	0.19417	0.15909	174.74719	0.10526	0.18107	226.80299	0.13665
1	34	0.27273	147.68211	0.14563	0.14286	195.73334	0.09091	0.11538	172.73698	0.07420
2	34	0.46729	163.71486	0.28090	0.15190	132.84348	0.12371	0.21348	87.79866	0.15966
3	34	0.53933	143.72362	0.33333	0.09163	215.76421	0.06336	0.45736	177.78166	0.32961
1	35	0.24096	181.75777	0.16393	0.36735	106.92982	0.33962	0.05988	117.84081	0.04854
2	35	0.34959	153.76170	0.24022	0.30636	194.79930	0.22944	-0.03759	84.78059	-0.02703
3	35	0.28758	173.77420	0.20370	0.18841	201.78201	0.13589	0.13757	181.74673	0.09091
1	36	0.27407	158.74193	0.17874	0.08519	237.74817	0.05651	-0.05099	193.83240	-0.04072
2	36	0.40385	131.80232	0.30435	0.21687	146.90291	0.19355	-0.08163	76.81545	-0.06316
3	36	0.30769	81.86793	0.26087	0.18667	233.74510	0.12281	0.19231	225.79250	0.14196
1	37	0.32143	168.76315	0.22167	0.26154	67.80952	0.20000	0.00493	131.81818	0.00383
2	37	0.33333	144.72470	0.20670	0.11304	204.76498	0.07831	0.12500	104.75000	0.08333
3	37	0.44286	86.88043	0.38272	0.29032	99.82069	0.22689	0.40854	234.71925	0.24907
1	38	0.38261	158.72374	0.23656	0.11650	222.69003	0.06417	0.37815	155.75319	0.25424
2	38	0.34188	163.69565	0.19231	0.30000	133.74123	0.19527	0.23699	177.79523	0.17597

3	38	0.29078	184.69972	0.16599	0.22759	152.76952	0.15942	0.31973	161.83562	0.25683
1	39	0.41489	134.72169	0.25490	0.17297	178.77286	0.12214	0.13605	147.72615	0.08475
2	39	0.38596	155.73170	0.24444	0.27907	190.78290	0.20168	-0.16667	31.85156	-0.13761
3	39	0.24490	121.69919	0.13953	0.25131	196.80907	0.19200	0.42742	182.71379	0.25604
1	40	0.32292	127.70869	0.19018	0.68000	43.75510	0.45946	0.49206	83.86207	0.41333
2	40	0.26087	197.71240	0.15556	0.55789	149.75401	0.37589	0.24309	215.71599	0.14667
3	40	0.15132	140.77737	0.10798	0.24873	212.77286	0.17563	0.38037	203.79004	0.27928
1	41	-0.22857	88.74194	-0.14907	-0.18605	125.74157	-0.12121	0.26178	204.79027	0.19231
2	41	-0.24862	66.75350	-0.16729	-0.16450	135.71350	-0.09845	0.10050	170.77260	0.07092
3	41	0.17881	161.72537	0.11111	0.13636	171.80183	0.10266	-0.10573	137.74200	-0.06897
1	42	0.43697	178.70877	0.25743	0.12987	138.77306	0.09174	0.20000	220.73672	0.12853
2	42	0.16783	161.69806	0.09524	0.24211	94.82313	0.19008	0.08730	217.75819	0.05946
3	42	0.42857	126.74863	0.28467	0.35938	147.84042	0.29114	0.12687	238.77686	0.09043
1	43	0.29508	152.72263	0.18182	0.25564	140.79295	0.18889	0.40164	146.85464	0.33333
2	43	0.33065	151.76050	0.22652	0.10870	210.74785	0.07205	-0.25610	23.79286	-0.18919
3	43	0.56250	117.82787	0.44554	0.16387	232.75870	0.11175	0.55556	124.90909	0.50000
1	44	0.33083	174.71947	0.20183	0.25882	201.72728	0.16176	0.29319	222.76164	0.20144
2	44	0.25150	187.75075	0.16800	0.21675	215.75566	0.14667	0.30508	223.72404	0.18881
3	44	0.15972	163.69252	0.08880	0.21341	168.77153	0.15021	0.34314	112.86429	0.28926
1	45	0.50617	122.74545	0.33333	0.16667	146.74001	0.10811	0.25000	168.74184	0.16300
2	45	0.80769	221.68571	0.43750	0.67480	228.70848	0.39713	0.49123	183.69930	0.28000
3	45	0.46281	177.73726	0.29787	0.16763	172.75072	0.11197	0.45652	124.79487	0.33871
1	46	0.27481	172.68985	0.15126	0.16940	213.68788	0.09254	0.26289	262.67572	0.13673
2	46	0.20661	126.75527	0.13966	0.19549	127.79820	0.14607	0.12857	97.98611	0.12676
3	46	0.26852	129.72690	0.16763	0.17919	184.72704	0.11191	0.41667	172.72058	0.25510
1	47	0.42593	155.72501	0.26437	0.35294	146.77420	0.25000	0.03448	178.76605	0.02395
2	47	0.29927	176.71077	0.17749	0.20370	160.78522	0.14798	0.01916	204.74669	0.01266
3	47	0.36134	148.77168	0.25444	0.29921	134.84325	0.24359	0.22051	202.77159	0.15523
1	48	0.45600	189.71332	0.27273	0.25641	163.80000	0.19231	0.40764	201.79401	0.30189
2	48	0.39167	149.80302	0.29560	0.43103	155.77884	0.30864	0.24352	211.75871	0.16608
3	48	0.54054	110.78461	0.39216	0.18009	234.71057	0.10674	0.35393	230.74185	0.23077
1	49	0.34127	179.68750	0.18615	0.24286	145.79167	0.17895	0.33333	174.72882	0.20930
2	49	0.36806	201.70810	0.21633	0.23602	182.73470	0.15079	0.37662	198.76190	0.25893
3	49	0.30323	188.74295	0.19831	0.23841	161.76868	0.16667	0.30732	242.76349	0.21212
1	50	0.38710	180.69872	0.22018	0.30631	124.80000	0.22973	0.37113	110.87023	0.31579
2	50	0.26897	178.71513	0.16183	0.17857	160.78378	0.12931	0.25000	150.77559	0.17766
3	50	0.29032	155.71831	0.17647	0.14925	206.72484	0.09259	0.18966	245.73770	0.12222
1	51	0.29808	143.68182	0.15897	0.14595	178.75067	0.09747	0.17284	74.80000	0.12963
2	51	0.27027	161.78462	0.19608	0.28289	163.80894	0.21608	0.11538	48.74074	0.07500
3	51	0.44715	159.82887	0.35484	0.15745	232.74738	0.10423	0.21053	185.80255	0.15873
1	52	0.23810	178.70474	0.13834	0.24294	193.75954	0.16602	0.16183	223.78622	0.11782
2	52	0.72000	198.68939	0.39560	0.58170	269.69467	0.32601	0.53425	244.69945	0.30469
3	52	0.32540	142.81500	0.25153	0.46154	198.71242	0.27523	0.40764	229.70712	0.23881
1	53	0.34746	152.73790	0.22404	0.28571	167.76923	0.20000	-0.02703	162.79770	-0.02017
2	53	0.39286	156.72223	0.24176	0.41176	147.71428	0.24706	0.49153	175.74789	0.32584
3	53	0.25000	161.75000	0.16667	0.27160	77.90909	0.24444	0.22105	194.78107	0.15909
1	54	0.39837	158.78082	0.28655	0.35393	232.73671	0.22744	0.34161	180.84549	0.27919
2	54	0.31008	169.70740	0.18182	0.33333	96.84252	0.27103	0.02326	61.78667	0.01695
3	54	0.25000	177.72891	0.15702	0.20419	194.76901	0.14286	0.25000	155.81148	0.19192
1	55	0.31250	151.76666	0.21739	0.27778	164.76086	0.19048	0.20816	257.75467	0.14050
2	55	0.56164	108.81197	0.43158	0.17536	199.78746	0.12803	-0.28000	20.82895	-0.22222
3	55	0.26316	180.72891	0.16529	0.19444	200.82143	0.15217	0.15517	183.90277	0.13846

1	56	0.40909	155.72540	0.25424	0.35433	171.71822	0.21531	0.13793	242.71169	0.08205
2	56	0.32039	118.79429	0.23741	0.13369	162.79683	0.09960	0.18357	209.75555	0.12418
3	56	0.32258	77.73846	0.20833	0.20098	195.80539	0.15242	0.13171	161.86476	0.11111
1	57	0.48958	149.71622	0.29560	0.29651	212.72995	0.18681	0.40146	185.74730	0.26570
2	57	0.18012	181.70483	0.10469	0.15075	184.77562	0.10714	0.02609	91.74468	0.01714
3	57	0.40000	123.82051	0.31250	0.33750	192.77777	0.24107	0.52294	162.77115	0.36774
1	58	0.29710	177.71037	0.17597	0.55856	178.73820	0.36047	0.35165	217.79738	0.26230
2	58	0.35294	152.74689	0.23333	0.16583	198.74937	0.11037	-0.26459	80.77052	-0.18579
3	58	0.56818	139.75581	0.38462	0.78889	188.68750	0.43030	0.28108	240.69807	0.15951
1	59	0.59615	202.65475	0.28182	0.48780	62.72527	0.30303	0.47581	180.75203	0.31892
2	59	0.36364	112.75581	0.24615	0.30108	97.85497	0.25000	0.10059	134.81413	0.07763
3	59	0.49275	93.83495	0.39535	0.17500	220.71097	0.10386	0.14595	196.70975	0.08626
1	60	0.59259	195.68494	0.32000	0.31492	243.69978	0.17981	0.24528	177.74922	0.16318
2	60	0.50000	119.76974	0.35043	-0.01648	113.81165	-0.01266	-0.22222	109.74046	-0.14433
3	60	0.26667	138.74590	0.17582	0.35789	120.75676	0.24286	0.14721	191.74811	0.09764

Fonte: autoria própria.