

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CÂMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFEITO DE REGULADORES DE CRESCIMENTO SOBRE A ARQUITETURA
DE PLANTAS E O RENDIMENTO DE SOJA**

DIEGO RODRIGUES MENDES

URUTAÍ – GO
Fevereiro de 2026

DIEGO RODRIGUES MENDES

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador: Alexandre Igor Azevedo Pereira

URUTAÍ – GO
Fevereiro de 2026

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☐ Dissertação (mestrado)
☐ Monografia (especialização)
☒ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Diego Rodrigues Mendes

Matrícula:

2014101200640344

Título do trabalho:

EFEITO DE REGULADORES DE CRESCIMENTO SOBRE A ARQUITETURA DE PLANTAS E O RENDIMENTO DE SOLA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 31 / 01 / 2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutaí, Goiás

Local

16 / 02 / 2026

Data

Diego R. Mendes

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Albino

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 2/2026 - CCBA-URT/GE-UR/DE-UR/CMPURT/IFGOIANO

ANEXO IV

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao 16º dia do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e seis, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do acadêmico Diego Rodrigues Mendes do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola, matrícula 2014101200640344 cujo trabalho de conclusão de curso intitulou-se **"EFEITO DE REGULADORES DE CRESCIMENTO SOBRE A ARQUITETURA DE PLANTAS E O RENDIMENTO DE SOJA"**. A defesa iniciou-se às 8 horas e 5 minutos, finalizando-se às 9 horas e 10 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho Aprovado com média 8,0 no trabalho escrito, média 8,0 no trabalho oral apresentando assim, média aritmética geral de 8,0 pontos, estando aprovado no seu trabalho de Conclusão de Curso. Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o estudante deverá fazer a entrega da versão final corrigida em formato digital (PDF), acompanhado do termo de autorização para publicação eletrônica (devidamente assinado pelo autor), para posterior inserção no Sistema de Gerenciamento do Acervo e acesso ao usuário via internet.

Trabalho de Curso defendido e aprovado em 16/02/2026 pela banca examinadora constituída pelos membros:

(Assinado Eletronicamente)

Dr. Alexandre Igor de Azevedo Pereira
Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Dr. Carmen Rosa da Silva Curvêlo
Examinadora

(Assinado Eletronicamente)

Dr. João Batista Coelho Sobrinho
Examinador

Documento assinado eletronicamente por:

- Alexandre Igor de Azevedo Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 02/03/2026 14:02:52.
- João Batista Coelho Sobrinho, 2025101344560001 - Discente, em 02/03/2026 14:08:06.
- Carmen Rosa da Silva Curvelo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 02/03/2026 14:41:44.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/03/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 794682
Código de Autenticação: b63ae04830



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Urutá

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTÁ / GO, CEP 75790-000
(64) 3465-1900

EFEITO DE REGULADORES DE CRESCIMENTO SOBRE A ARQUITETURA DE PLANTAS E O RENDIMENTO DE SOJA

DIEGO RODRIGUES MENDES

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Câmpus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Defendido e aprovado pela Comissão Examinadora em: 16/02/2026



Prof.(a) Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira
Orientador



Prof.(a) Dr^a Carmen Rosa da Silva Curvêlo
Examinadora



Dr. João Batista Coêlho Sobrinho
Examinador

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

M538 Mendes, Diego Rodrigues
 Efeito de reguladores de crescimento sobre a arquitetura de
 plantas e o rendimento de soja / Diego Rodrigues Mendes. Urutai
 2026.

 28f. il.

 Orientador: Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira.
 Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0120064 -
 Bacharelado em Engenharia Agrícola - Urutai (Campus Urutai).
 I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e família, que me apoiaram e me deram suporte no decorrer do curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conceder saúde e força para superar os desafios enfrentados. Meu reconhecimento vai também para meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira, pelo apoio nas correções e pelos incentivos recebidos. Ao IF Goiano pelo suporte institucional e acadêmico que foi crucial durante o meu percurso. A todos professores pelos valiosos ensinamentos compartilhados. A minha família pelo amor, apoio e encorajamento incondicional; sem vocês, esta conquista não teria sido possível. Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação.

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUÇÃO.....	12
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
MATERIAL E MÉTODOS	16
RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

RESUMO

Reguladores de crescimento têm potencial para modular a arquitetura e a produtividade da soja, mas seus efeitos são complexos e dependem fortemente das interações entre planta, produto e ambiente. Este estudo avaliou comparativamente oito reguladores utilizando uma abordagem multivariada capaz de integrar caracteres morfológicos, reprodutivos e produtivos da soja cultivada no Cerrado Brasileiro. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e aplicações em V4, avaliando-se dez variáveis agronômicas, incluindo arquitetura de plantas, classes de vagens e produtividade. Embora a ANOVA em modelos mistos não tenha identificado diferenças estatísticas isoladas para a maioria das variáveis ($p > 0,05$), as correlações específicas por tratamento revelaram padrões fisiológicos contrastantes. As análises de agrupamento e o índice de Smith–Hazel mostraram-se altamente informativas, permitindo discriminar três grupos de desempenho: reguladores recomendados (Stimulate, PR136 e Check), caracterizados por respostas mais equilibradas; intermediários (StoppingGo e MaxCel) e não recomendados (StartStop, Equaliza e Biozyme), que apresentaram desempenho agrônomo inferior. Assim, mesmo sem efeitos univariados robustos, a abordagem multivariada demonstrou elevada capacidade de distinguir o mérito agrônomo dos produtos, reforçando que análises integradas são essenciais para orientar recomendações precisas no manejo da soja. Novas pesquisas devem ser realizadas para confirmar e ampliar esses achados em diferentes condições de cultivo e manejo.

Palavras-chave: Glycine max, reguladores de crescimento, análise multivariada, índice de seleção, Smith–Hazel.

ABSTRACT

Growth regulators have the potential to modulate soybean architecture and productivity, but their effects are complex and strongly dependent on interactions among the plant, the product, and the environment. This study comparatively evaluated eight regulators using a multivariate approach capable of integrating morphological, reproductive, and yield-related traits of soybean grown in the Brazilian Cerrado. The experiment was conducted in a randomized complete block design with four replications, with applications at V4, and ten agronomic variables were assessed, including plant architecture, pod classes, and yield. Although ANOVA using mixed models did not detect isolated statistical differences for most variables ($p > 0.05$), treatment-specific correlations revealed contrasting physiological patterns. Cluster analyses and the Smith–Hazel index proved highly informative, allowing the discrimination of three performance groups: recommended regulators (Stimulate, PR136, and Check), characterized by more balanced responses; intermediate regulators (StoppingGo and MaxCel); and non-recommended regulators (StartStop, Equaliza, and Biozyme), which showed inferior agronomic performance. Thus, even without robust univariate effects, the multivariate approach demonstrated a high capacity to distinguish the agronomic merit of the products, reinforcing that integrated analyses are essential to guide precise recommendations in soybean management. Further research should be conducted to confirm and expand these findings under different cultivation and management conditions.

Keywords: Glycine max, growth regulators, multivariate analysis, selection index, Smith–Hazel.

1. INTRODUÇÃO

A soja consolidou-se como uma das principais culturas do agronegócio mundial, destacando-se tanto pelo volume produzido quanto pela ampla versatilidade de uso. Nesse contexto, o manejo fisiológico da cultura por meio de reguladores de crescimento e biostimulantes tem ganhado relevância como estratégia para modular arquitetura, eficiência metabólica e produtividade, sobretudo em ambientes sujeitos a múltiplos estresses, conforme evidenciado por Wang et al. (2023, 2024), Qu et al. (2025) e Cannon et al. (2025). Esses autores destacam que substâncias como o mepiquat chloride e compostos análogos podem alterar altura de plantas, particionamento de biomassa, tolerância a seca e resistência ao acamamento, ainda que tais modificações nem sempre resultem em incrementos consistentes de rendimento.

Em condições de produção comercial, diversos reguladores e bioprodutos – como lactofen e formulações sintéticas ou biológicas – têm sido utilizados com o propósito de ajustar o balanço entre crescimento vegetativo e reprodutivo. Resultados de pesquisas nacionais e internacionais indicam alterações em altura, diâmetro de caule, número de ramos, componentes de produção e rendimento, variando de acordo com produto, dose e estágio fenológico, como relatado por Almeida et al. (2024), Barbosa et al. (2023), Steffler et al. (2023) e Rezende e Benett (2025). De modo análogo, estudos com biostimulantes e tratamentos de sementes mostram efeitos sobre vigor inicial, formação de vagens e qualidade fisiológica, mas fortemente condicionados a fatores edafoclimáticos e ao histórico de manejo (Gaweda et al., 2024; Colet et al., 2025; Franzoni et al., 2023).

A literatura converge, entretanto, para um ponto central: os efeitos de reguladores e biostimulantes são altamente contextuais e muitas vezes sutis, dependendo do equilíbrio fisiológico entre crescimento vegetativo e reprodutivo, da plasticidade da cultivar e da interação com estresses ambientais (Tigga et al., 2024; Kaya et al., 2024). Como discutido por Wang et al. (2023) e Cannon et al. (2025), reguladores podem melhorar a eficiência fisiológica, mas também podem induzir desequilíbrios hormonais capazes de limitar o enchimento de grãos. Isso explica por que muitos estudos registram ganhos modestos ou inconsistentes na produtividade — fenômeno que também se refletiu na ausência de diferenças univariadas marcantes observadas no presente trabalho.

Diante dessa complexidade, análises univariadas tendem a ser insuficientes para captar respostas fisiológicas integradas. Por isso, metodologias multivariadas têm sido recomendadas para compreender o desempenho global de genótipos e tratamentos, permitindo integrar simultaneamente múltiplos caracteres correlacionados. Trabalhos como os de Volpato et al. (2021), Olivoto et al. (2021), Sangiovo et al. (2023), Bandeira et al. (2024) e Zardin et al. (2024) demonstram a eficiência de índices de seleção (como Smith–Hazel e MGIDI) e técnicas de agrupamento para identificar materiais superiores de forma mais robusta do que análises isoladas.

Diante disso, torna-se pertinente avaliar reguladores de crescimento em soja sob uma abordagem integradora que contemple arquitetura, componentes de rendimento e produtividade final, utilizando modelos mistos, correlações, agrupamento hierárquico e índices multivariados. Assim, o presente estudo teve como objetivo comparar diferentes reguladores de crescimento por meio de uma perspectiva multivariada capaz de capturar a complexidade fisiológica da cultura e gerar recomendações de manejo mais precisas e biologicamente consistentes — alinhadas às evidências de que apenas análises integradas permitem distinguir tratamentos com desempenho realmente superior.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Cerrado, a produtividade da soja depende fortemente do ajuste entre crescimento vegetativo, formação de vagens e enchimento de grãos, sob temperaturas elevadas e forte sazonalidade hídrica. A arquitetura de plantas (altura, número de nós, ramificação e robustez do caule) condiciona interceptação de luz, microclima do dossel, risco de acamamento e eficiência de colheita, influenciando os componentes do rendimento. Nesse contexto, reguladores de crescimento e biostimulantes têm sido usados como manejo fisiológico para modular a arquitetura e estabilizar o desempenho produtivo.

Reguladores de crescimento (PGRs) atuam sobre vias hormonais, alterando alongamento de entrenós, emissão de ramos, senescência e partição de assimilados. Em soja, busca-se reduzir crescimento excessivo e melhorar a resistência ao acamamento, mas a literatura enfatiza que respostas em rendimento são altamente dependentes de cultivar, estágio e ambiente. Wang et al. (2023) mostraram que o mepiquat chloride pode modular respostas fisiológicas associadas à tolerância ao déficit hídrico; contudo, mudanças morfológicas/metabólicas nem sempre se traduzem em ganho de produtividade. Em ensaios de campo, aplicações de mepiquat chloride podem reduzir altura e aumentar atributos do caule, com impacto em rendimento variável e frequentemente varietal (Qu et al., 2025).

Biostimulantes comerciais (misturas de compostos orgânicos, extratos, micronutrientes e/ou microrganismos) são aplicados via sementes e foliar para favorecer vigor, floração e eficiência reprodutiva. Porém, sua resposta é contextual e pode interagir com outros insumos. Franzoni, Vicentini e Orzes (2023) demonstraram que matérias-primas de biostimulantes, aplicadas isoladamente ou em combinação com herbicidas, alteram o desempenho da soja, indicando que compatibilidade e timing de aplicação são determinantes. De forma semelhante, Gaweda et al. (2024) observaram efeitos combinados de herbicidas e biostimulantes sobre rendimento e qualidade de sementes, com magnitude variável entre condições de cultivo.

Diversos estudos apontam que os efeitos de PGRs/biostimulantes podem ser dispersos em vários caracteres correlacionados. Assim, testes univariados podem não detectar diferenças mesmo quando há reorganização funcional do sistema fonte–dreno (por exemplo, mudanças na relação entre altura, classes de vagens e rendimento). Isso justifica combinar modelos mistos (para maior robustez em ensaios com blocos) com ferramentas multivariadas capazes de sintetizar o desempenho global e reduzir o risco de conclusões baseadas em um único componente. Índices clássicos de seleção, como Smith (1936) e Hazel (1943), integram múltiplos caracteres em um escore único, apropriado quando variáveis são intercorrelacionadas e o objetivo é decidir pela superioridade global de tratamentos. Métodos modernos como o MGIDI, proposto por Olivoto e

Nardino (2021), estimam a distância de cada tratamento a um ideótipo desejado, permitindo interpretar pontos fortes e limitações por conjunto de caracteres. Em avaliações de reguladores, essa integração é valiosa porque pequenas variações negativas em vários atributos podem somar-se e reduzir o desempenho final, efeito que análises isoladas tendem a subestimar.

A estratégia desse estudo segue essa tendência metodológica, pois além da ANOVA (modelo misto), o uso de correlações específicas por tratamento e de métodos multivariados (agrupamento por similaridade e índice de seleção) permite discriminar perfis fisiológicos e ranquear produtos mesmo quando diferenças univariadas são discretas. Essa abordagem é consistente com a literatura ao reconhecer que a recomendação de reguladores na soja deve considerar o conjunto de respostas (arquitetura, componentes do rendimento e produtividade) e sua estabilidade sob condições de campo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido na Fazenda Morro do Peão (17° 17' 59" S latitude, 48° 16' 46" W longitude e 758 m de altitude), pertencente ao Grupo Agrícola Santinoni na zona rural de Urutaí, sudeste do estado de Goiás, Brasil. A temperatura média durante o período experimental foi de $26,5 \pm 2^\circ\text{C}$, com umidade relativa do ar de $65 \pm 10\%$.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com oito tratamentos referentes a diferentes manejos de reguladores de crescimentos e quatro repetições. Cada parcela experimental foi composta por oito linhas de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,45 m, totalizando área útil de 18 m². A semeadura foi realizada em 23/10/2023 e a colheita em 15/02/2024. Foi empregada a cultivar Brasmax Olimpo IPRO (grupo de maturação 7.8, hábito indeterminado, média a alta exigência nutricional e ampla adaptabilidade).

A adubação de base foi composta por 220 kg ha⁻¹ de MAP no sulco do plantio, enquanto o cloreto de potássio foi aplicado em cobertura (180 kg ha⁻¹ no total), parcelado em três vezes (20%, 40% e 40%), aos 1, 20 e 40 dias após a semeadura.

Os manejos de reguladores de crescimentos foram aplicados no estágio V4, em 30/11/2023, por via pós-emergente, utilizando-se produtos de diferentes fabricantes e formulações. O tratamento Check consistiu apenas na aplicação de água. O produto Prime (PR136) foi aplicado na dose de 300 mL ha⁻¹, mesma dosagem utilizada para StoppingGo (Valence), Equaliza (Master) e StartStop (Blucorp). O Stimulate (Stoller) foi aplicado na dose de 250 mL ha⁻¹, equivalente às doses de Biozyme (UPL) e MaxCel (Sumitomo).

A dessecação em pré-semeadura foi realizada em área experimental antes da implantação da cultura da soja. Os seguintes produtos foram aplicados de modo uniforme: Wetcit (6% de óleo de laranja, dose de 0,15 L ha⁻¹), Clorimuron CCAB (25% clorimuron, WG, 0,08 kg ha⁻¹), Joya (48% flumioxazina, SC, 0,10 L ha⁻¹), Trinca Caps (25% lambda-cialotrina, SC, 0,15 L ha⁻¹) e Crucial (40,08% isopropilamina + 29,78% potássio, SL, 3,00 L ha⁻¹).

O tratamento de sementes foi realizado na fazenda ("on farm") logo antes da semeadura, utilizando os seguintes ingredientes: Vitavax (20% tiram + 20% carboxina, FS, 0,10 L ha⁻¹), Poliplus (FS, 0,10 L ha⁻¹), Start (25% fipronil, ZC, 0,10 L ha⁻¹), Biozyme (sulfato ferroso, sulfato de manganês e nitrato de zinco, SL, 0,10 L ha⁻¹), CoMo UP (Co 12 g + Mo 84 g + giberelina, FS, 0,10 L ha⁻¹) e Trichoplus GF (*Trichoderma asperellum*, WG, 0,25 kg ha⁻¹). Todos os insumos foram aplicados diretamente e homogeneamente sobre as sementes.

No pós-emergente, realizaram-se aplicações utilizando: Wetcit (0,15 L ha⁻¹), Trinca Caps (0,15 L ha⁻¹), Vigora (SL, 1,00 L ha⁻¹), Nutre Boro (SL, 0,20 L ha⁻¹), Crucial (SL, 2,00 L ha⁻¹), Prisma Plus

(25% difenoconazol, 0,30 L ha⁻¹) e Lufenuron Nortox (CE, 0,15 L ha⁻¹), realizando o manejo fitossanitário inicial.

A primeira aplicação de fungicida ocorreu utilizando: Wetcit (0,15 L ha⁻¹), Evolution (3,75% azoxistrobina + 52,5% mancozebe + 37,5% protriocanazol, WG, 2,00 kg ha⁻¹), Sperto (25% acetamiprido + 25% bifentrina, WG, 0,35 kg ha⁻¹), Trinca Caps (0,15 L ha⁻¹), Vital (SL, 0,10 L ha⁻¹), Energy (SL, 1,00 L ha⁻¹), Nutre Boro (SL, 0,20 L ha⁻¹) e Lufenuron Nortox (0,15 L ha⁻¹).

A segunda aplicação envolveu: Wetcit (0,30 L ha⁻¹), Bravonil (clorotalonil, SC, 1,50 L ha⁻¹), Galil (25% imidacloprido + 50% bifentrina, SC, 0,40 L ha⁻¹), Vital (0,10 L ha⁻¹), Nutre KS (SL, 0,50 L ha⁻¹), Nutre Boro (0,20 L ha⁻¹) e Viovan (10% picoxistrobina + 11,6% protriocanazol, CE, 0,60 L ha⁻¹).

Na terceira aplicação, utilizaram-se: Wetcit (0,15 L ha⁻¹), Afado (25% acetamiprido + 25% bifentrina, SC, 0,70 L ha⁻¹) e Evolution (2,00 kg ha⁻¹).

Na pré-colheita foi feita utilizando Wetcit (0,15 L ha⁻¹), Trinca Caps (0,15 L ha⁻¹) e Diquat (helmquat, SL, 1,00 L ha⁻¹), para uniformização da maturação. Os produtos foram aplicados conforme recomendações técnicas de bula.

Todas as operações foram realizadas com pulverização costal pressurizada a CO₂, operando a 3 kg cm⁻² e volume de calda de 120 L ha⁻¹. A barra de espessura contorna com seis pontas AXI 110.02, espaçadas 0,5 m entre si, promovendo cobertura uniforme.

As avaliações morfológicas e produtivas foram realizadas na colheita, utilizando trinta plantas por parcela como unidade amostral. O número de ramos laterais (BRN) foi determinado pela contagem direta de todos os ramos originados na haste principal. O número de nós da haste principal (MNN) foi obtido pela contagem sequencial dos nós visíveis, da base ao ápice. As vagens foram classificadas e quantificadas segundo o número de grãos: vagens com 1 grão (P1S), 2 grãos (P2S), 3 grãos (P3S) e 4 grãos (P4S). O número total de vagens por planta (TPD) foi obtido pela soma dessas categorias. O número total de grãos (TSD) foi determinado pela debulha completa das plantas avaliadas e posterior contagem individual dos grãos. A média de grãos por vagem (GPP) foi calculada pela razão entre TSD e TPD. O diâmetro do caule (STD) foi mensurado com paquímetro digital, no entrenó imediatamente acima do nó cotiledonar, padronizando-se o ponto de coleta entre parcelas. A altura de planta (PLH) foi determinada com régua graduada, do nível do solo ao ápice da haste principal. O rendimento de grãos (YLD) foi obtido pela colheita da área útil de cada parcela, seguida de trilha, limpeza e pesagem em balança de precisão, corrigindo-se a umidade dos grãos para 13% e expressando o valor em kg ha⁻¹.

Os dados foram inicialmente submetidos à análise de variância em modelo misto (ANOVA mista) para cada variável de interesse, considerando tratamentos como efeito fixo e blocos como efeito aleatório, por meio de modelos lineares mistos. O modelo estatístico pode ser representado por:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

em que y_{ijk} é a observação da variável resposta no k -ésimo indivíduo submetido ao i -ésimo tratamento no j -ésimo bloco; μ é a média geral; τ_i é o efeito fixo do i -ésimo tratamento; $\beta_j \sim N(0, \sigma_\beta^2)$ é o efeito aleatório do j -ésimo bloco; e $\epsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ é o erro aleatório. A significância do efeito de tratamentos foi avaliada pelo teste F, obtendo-se, para cada variável, o valor de F, o respectivo valor de p e o desvio-padrão residual, além das médias por tratamento.

Em seguida, foram estimados os coeficientes de correlação de Pearson entre o rendimento (YLD) e os demais caracteres agronômicos, de forma separada para cada tratamento, utilizando apenas observações completas. O coeficiente de correlação foi calculado como:

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

em que X_i representa o valor do i -ésimo caráter agronômico, Y_i é o rendimento correspondente, $\bar{X}$ e $\bar{Y}$ são as respectivas médias, e n é o número de observações. Os coeficientes foram organizados em gráficos de barras e em planilhas, permitindo visualizar a direção e magnitude das correlações específicas de cada tratamento.

Para explorar simultaneamente o desempenho multicaracterístico dos tratamentos, calcularam-se escores padronizados (z -scores) das médias por tratamento para o conjunto de variáveis agronômicas e de rendimento:

$$z_{ij} = \frac{\bar{X}_{ij} - \bar{X}_j}{\sigma_j}$$

em que z_{ij} é o z -score do i -ésimo tratamento para a j -ésima variável; $\bar{X}_{ij}$ é a média do tratamento; $\bar{X}_j$ é a média geral da variável; e σ_j é o desvio-padrão. Com base nessa matriz padronizada, procedeu-se à análise de agrupamento hierárquico pelo método UPGMA, construindo-se um dendrograma em estrutura de grafo. Os tratamentos foram representados como nós conectados às variáveis, com espessura das arestas proporcional ao valor absoluto do z -score e coloração dos nós de acordo com o sinal e magnitude dos escores.

A distância euclidiana entre os tratamentos foi calculada como:

$$d_{pq} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{pj} - z_{qj})^2}$$

em que d_{pq} é a distância entre os tratamentos p e q , e m é o número de variáveis.

Adicionalmente, foi calculado o índice multivariado de seleção de Smith–Hazel para os tratamentos, a partir da matriz de médias dos caracteres e da matriz de correlação entre variáveis. O índice é definido como:

$$ISH_i = X_i R^{-1} w$$

em que ISH_i é o escore do índice de Smith–Hazel para o i -ésimo tratamento; X_i é o vetor de médias dos caracteres do tratamento; R é a matriz de correlação entre os caracteres; R^{-1} é a sua inversa (regularizada para garantir estabilidade numérica); e w é o vetor de pesos atribuídos aos caracteres. Neste estudo, admitiram-se pesos iguais para todos os caracteres ($w_j = 1$ para todo j). Os escores do índice foram utilizados para ranquear os tratamentos e classificá-los em grupos de desempenho (recomendados, intermediários e não recomendados), bem como para construir um diagrama do tipo Sankey ligando cada tratamento ao respectivo grupo de recomendação.

Todas as análises foram realizadas no ambiente R (R Core Team, 2025), utilizando os seguintes pacotes: lme4 e lmerTest para ajuste dos modelos lineares mistos; tidyverse e dplyr para manipulação e transformação dos dados; ggplot2, ggraph, RColorBrewer e ggnewscale para visualizações gráficas; openxlsx e writexl para exportação de resultados em formato Excel; MASS para operações matriciais; e networkD3 para construção de diagramas interativos tipo Sankey.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância via modelos mistos revelou diferenças moderadas entre os tratamentos para algumas das variáveis morfológicas e produtivas avaliadas (Tabela 1). Para BRN (número de ramos laterais), o teste F indicou ausência de efeito significativo dos tratamentos ($F = 1,38$; $p = 0,26$), acompanhada de desvio-padrão residual relativamente baixo (0,35), sugerindo pouca variabilidade não explicada pelo modelo. Tendência semelhante foi observada para MNN (número de nós da haste principal), cujo valor de $p = 0,42$ também indica não haver diferenças estatísticas entre tratamentos.

Para as variáveis relacionadas à produção de vagens — P1S, P2S, P3S e P4S — o modelo não identificou efeitos significativos, com valores de p variando entre 0,55 e 0,79. Apesar disso, nota-se variação numérica entre os tratamentos, especialmente em P3S e P4S, que apresentaram maiores desvios-padrão residuais (5,77 e 7,05, respectivamente), indicando maior dispersão dos dados. O número total de vagens (TPD) apresentou $F = 0,48$ e $p = 0,83$, reforçando a ausência de diferenças estatísticas entre os tratamentos. Resultado semelhante foi obtido para o número total de grãos (TSD), cujo $p = 0,32$ sugere estabilidade entre tratamentos. Para GPP (média de grãos por vagem), embora o teste F tenha sido relativamente maior ($F = 3,74$), o valor de $p = 0,07$ indica tendência, porém sem significância estatística ao nível convencional.

Entre as variáveis avaliadas, o diâmetro do caule (STD) também não apresentou diferenças significativas ($F = 1,51$; $p = 0,21$). No entanto, o desvio-padrão residual (6,93) foi um dos mais elevados, indicando alta variabilidade individual nas plantas, independentemente do tratamento aplicado. De modo geral, os resultados apontam que os tratamentos avaliados não promoveram diferenças estatisticamente significativas nas características morfológicas e produtivas da cultura. Embora os efeitos diretos dos tratamentos tenham sido limitados, a avaliação das correlações revelou interações importantes entre os componentes morfológicos e produtivos.

Tabela 1. Resultados da análise de variância em modelos mistos para variáveis morfológicas e produtivas dos tratamentos, incluindo estatísticas do teste e médias por tratamento.

Variável	Test F	pValue	Residual_SD	Controle	Biozyme	Equaliza	MaxCel	PR136	StartStop	Stimulate	StoppingGo
BRN	1.38	0.26	0.35	1.78	2.21	1.77	1.73	2.01	1.63	2.09	1.75
MNN	0.73	0.65	0.42	13.06	13.21	13.37	13.48	13.25	13.16	13.37	13.62
P1S	0.8	0.6	7.25	6.11	1.45	2.31	1.59	8.84	1.9	8.92	2.55
P2S	0.68	0.69	5.55	15.13	10.27	13.36	14.59	12.89	14.03	15.01	18.34
P3S	0.94	0.5	5.77	21.5	24.76	29.2	27.45	22.57	23.44	22.21	26.79
P4S	0.54	0.79	0.75	1.26	1.16	1.26	1.18	1.13	1.67	1.9	1.41
TPD	0.49	0.83	0.27	2.41	2.68	2.63	2.62	2.5	2.6	2.45	2.56
TSD	0.97	0.48	0.32	6.76	6.96	6.63	6.77	6.43	6.61	6.77	6.61
GPP	3.74	0.01	1.7	84.39	83.33	85.08	86.49	87.39	85.28	86.45	88.39

STD	1.51	0.21	6.93	69.62	69.4	73.18	70.02	60.63	72.92	73.8	72.57
-----	------	------	------	-------	------	-------	-------	-------	-------	------	-------

BRN = número de ramos laterais; MNN = número de nós da haste principal; P1S = número de vagens com 1 grão; P2S = número de vagens com 2 grãos; P3S = número de vagens com 3 grãos; P4S = número de vagens com 4 grãos; TPD = número total de vagens; TSD = número total de grãos; GPP = média de grãos por vagem; STD = diâmetro do caule; PLH = altura de planta; YLD = rendimento de grãos.

A análise de correlação mostrou que cada regulador alterou de forma distinta a relação entre características morfológicas e produtividade. No tratamento controle, plantas mais altas, com mais ramos e maior proporção de vagens com 2 e 4 grãos tiveram melhor desempenho. Já PR136 apresentou o padrão mais desfavorável, com correlações negativas fortes para várias características vegetativas e reprodutivas, sugerindo desbalanço fisiológico. StoppingGo destacou-se pela forte associação positiva entre P1S e rendimento, enquanto Equaliza favoreceu produtividade ligada a vagens de 1 e 4 grãos, embora com menor número total de vagens. O Stimulate apresentou forte correlação positiva com diâmetro de caule e negativas com número de nós e variáveis reprodutivas totais. Biozyme mostrou correlações predominantemente fracas, indicando pouca influência sobre os padrões morfofisiológicos. Já MaxCel favoreceu plantas altas com mais vagens de 1 e 2 grãos, e StartStop associou maior produtividade a vagens de 1 e 2 grãos e maior altura, com forte correlação negativa para GPP.

De forma geral, os tratamentos apresentaram padrões fisiológicos contrastantes, evidenciando que cada regulador modula um conjunto específico de relações entre arquitetura, componentes de produção e rendimento. Observou-se que P1S, P2S e PLH foram as variáveis que mais frequentemente se correlacionaram positivamente com a produtividade, enquanto STD, MNN e GPP tenderam a correlações negativas em diversos tratamentos. Esses padrões forneceram a base para a etapa multivariada, que sintetizou tais relações e permitiu agrupar os tratamentos de acordo com seu perfil fisiológico global. Tais padrões de associação entre os caracteres forneceram a base para a etapa multivariada, que permitiu sintetizar essas relações em agrupamentos estruturais dos tratamentos.

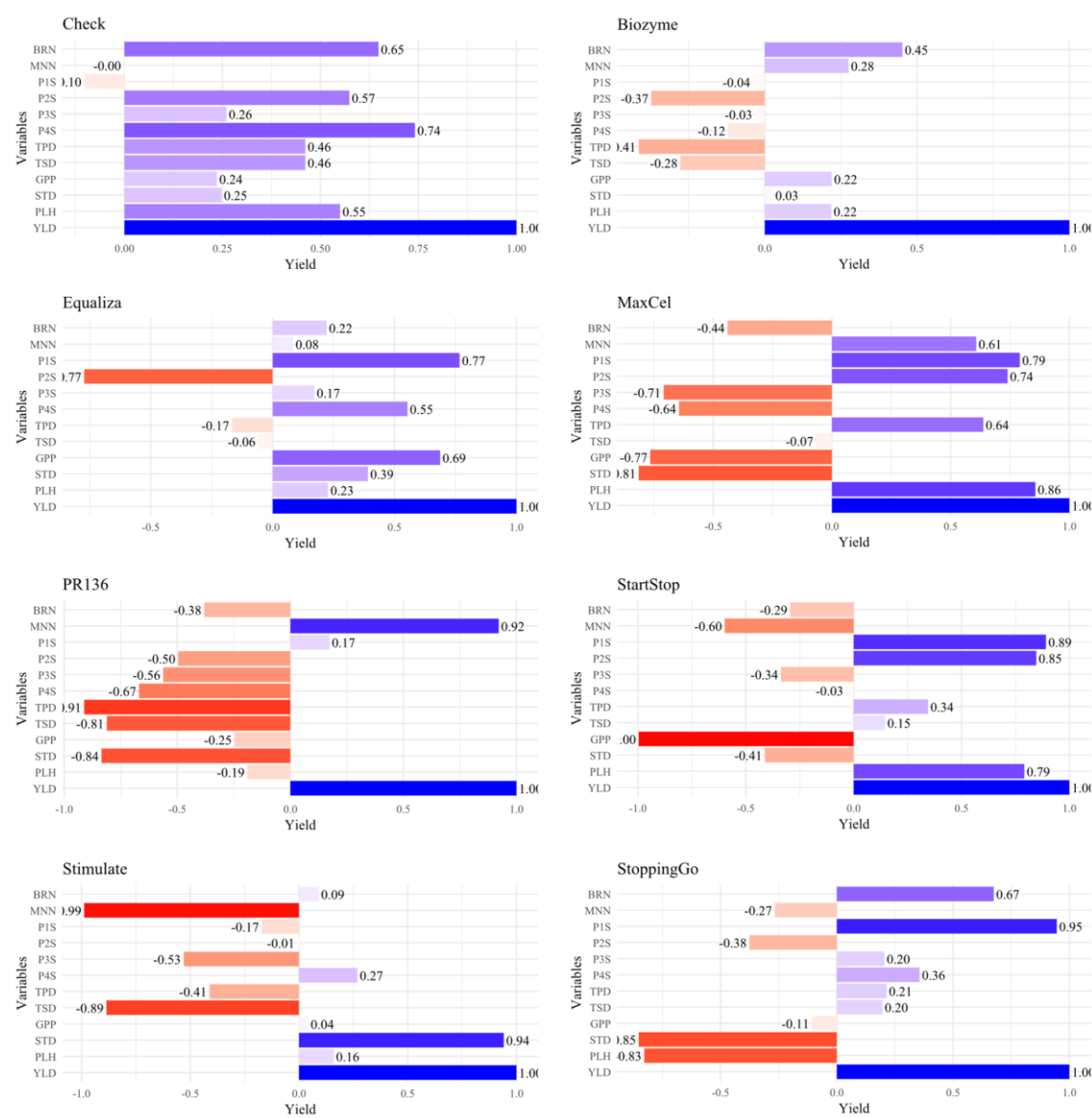


Figura 1. Correlação de Pearson entre variáveis morfofisiológicas e produtividade (YLD) em função dos diferentes tratamentos com reguladores de crescimento.

A análise multivariada baseada nos z-scores padronizados organizou os tratamentos em três grupos distintos, refletindo padrões de similaridade no conjunto das características morfológicas e produtivas avaliadas. A estrutura observada no dendrograma mostra que a maior parte dos bioestimulantes compartilha respostas próximas, enquanto dois tratamentos exibem comportamento divergente (Figura 3).

O Cluster 1 foi formado exclusivamente pelo Check, que apresentou valores de z próximos de zero na maioria das variáveis. Esse grupo representa o padrão de referência do experimento e indica que o tratamento sem bioestimulante não gerou desvios acentuados no padrão multivariado.

O Cluster 2 reuniu a maior parte dos produtos — PR136, StoppingGo, Equaliza, Stimulate, Biozyme e MaxCel — demonstrando que esses seis bioestimulantes apresentam padrão multivariado

semelhante, mesmo com oscilações individuais entre variáveis específicas. De forma geral, esses tratamentos exibiram respostas moderadas, sem padrões extremos positivos ou negativos que justificassem sua separação em grupos menores. Dentro desse cluster, alguns tratamentos evidenciaram tendências particulares, como os valores positivos de StoppingGo para MNN, P2S e PLH, ou o desempenho de Stimulate em BRN, P1S e P4S, mas ainda assim permanecendo próximos ao comportamento coletivo do grupo.

O Cluster 3 foi formado apenas por StartStop, que apresentou uma combinação de desvios leves positivos e negativos, porém com padrão multivariado que se diferenciou consistentemente dos demais. Embora nenhum z-score tenha sido extremo, o conjunto das respostas foi suficientemente distinto para posicioná-lo isoladamente no dendrograma.

Em síntese, a estrutura de clusters indica que não houve um único produto com comportamento amplamente superior, mas sim agrupamentos determinados pela semelhança global das respostas. A maioria dos bioestimulantes compartilhou um mesmo padrão (cluster 2), ao passo que Check e StartStop apresentaram perfis específicos que justificaram sua separação em grupos próprios. Com base nesses padrões de agrupamento, avançou-se para uma abordagem multivariada complementar, capaz de integrar simultaneamente as variáveis e gerar um indicador único de desempenho.

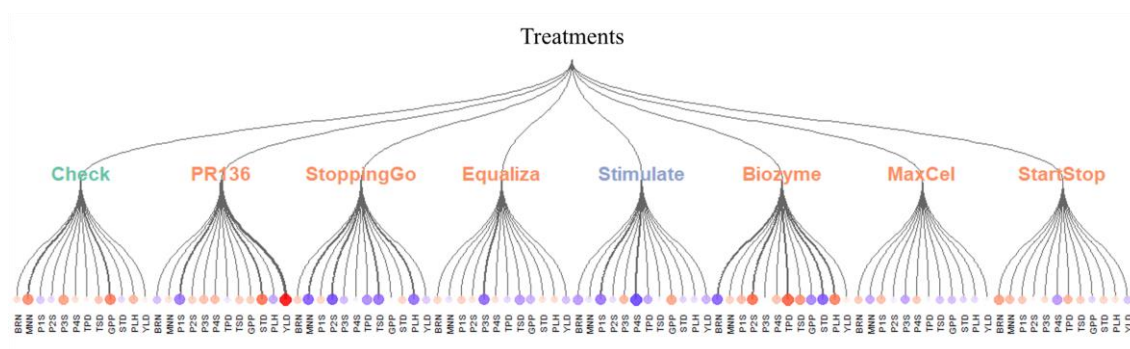


Figura 2. Rede dendrográfica de tratamentos e variáveis padronizadas (z-score) em função dos diferentes reguladores de crescimento.

A análise multivariada pelo índice de Smith-Hazel sintetizou o desempenho global dos tratamentos ao integrar simultaneamente características morfológicas e produtivas, permitindo comparar os reguladores de forma abrangente. O diagrama Sankey evidenciou três grupos distintos: Recomendado (Stimulate, PR136 e Check), formado por tratamentos com respostas mais equilibradas e desempenho integrado superior; Intermediário (StoppingGo e MaxCel), composto por produtos com efeitos moderados e dependentes de condições específicas; e Não Recomendado (StartStop, Equaliza e Biozyme), que apresentaram menor contribuição conjunta para os atributos avaliados. A presença do

Check no grupo recomendado reforça que, mesmo sem bioestimulantes, o cultivo mostrou estabilidade fisiológica.

De modo geral, a classificação multivariada mostrou que apenas alguns reguladores apresentaram respostas realmente consistentes entre os diferentes componentes analisados, enquanto outros tiveram performance limitada ou instável. O agrupamento visual pelo Sankey facilitou a identificação dos produtos mais promissores e destacou que pequenas alterações negativas em múltiplas variáveis podem se somar e reduzir o desempenho global — algo que análises univariadas não captariam. Esses resultados reforçam a importância de abordagens integradas para orientar recomendações de manejo mais precisas e alinhadas ao comportamento fisiológico real da cultura.

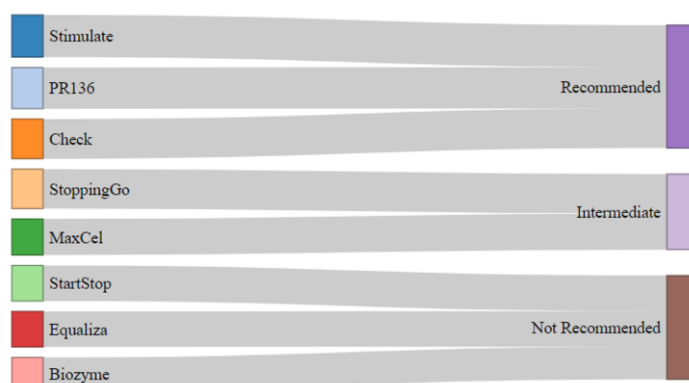


Figura 3. Ranking multivariado de tratamentos utilizando o índice de Smith-Hazel, com agrupamento por desempenho em diagrama Sankey.

De maneira integrada, os resultados mostram que, embora a análise univariada via modelos mistos não tenha identificado diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para a maioria das variáveis morfológicas e reprodutivas, houve variações numéricas relevantes que justificaram análises complementares. Essas diferenças tornaram-se mais evidentes nas correlações específicas por tratamento, revelando que cada regulador altera de modo particular a relação entre características estruturais da planta e o rendimento de grãos. Observou-se que variáveis como P1S, P2S e PLH se correlacionaram positivamente com a produtividade em vários tratamentos, enquanto STD, MNN e GPP tenderam a apresentar correlações negativas, evidenciando mecanismos fisiológicos distintos modulados pelos produtos.

A análise de agrupamento reforçou essa heterogeneidade ao mostrar que os tratamentos não apresentaram comportamento uniforme. O Check manteve um padrão estável, enquanto a maior parte dos reguladores se concentrou em um grupo intermediário de respostas, e alguns produtos, como StartStop, exibiram padrões suficientemente diferenciados para formar grupos isolados. Por fim, o índice multivariado de Smith-Hazel integrou todas as variáveis e permitiu classificar os tratamentos

quanto ao desempenho global: Stimulate, PR136 e Check foram enquadrados como de melhor desempenho; StoppingGo e MaxCel apresentaram respostas intermediárias; e Equaliza, StartStop e Biozyme mostraram desempenho inferior. Esses achados demonstram que, mesmo na ausência de diferenças univariadas expressivas, os reguladores de crescimento influenciaram a cultura de maneira complexa e multidimensional, reforçando a importância de abordagens multivariadas para avaliações mais precisas e realistas em estudos fisiológicos e de manejo da soja.

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que os reguladores de crescimento apresentam efeitos complexos e altamente dependentes das condições de cultivo, da formulação e do estágio de aplicação, o que é amplamente relatado na literatura recente. Trabalhos como os de Wang et al. (2024), Qu et al. (2025) e Cannon et al. (2025) descrevem que substâncias como mepiquat chloride podem alterar arquitetura, resistência ao acamamento e partição de biomassa, mas que essas modificações nem sempre se convertem em aumentos diretos de produtividade, padrão semelhante ao observado aqui. De forma complementar, Almeida et al. (2024) e Barbosa et al. (2023) destacam que reguladores como lactofen e outros compostos comerciais tendem a promover mudanças estruturais moderadas, influenciando altura, diâmetro de caule e ramificação, o que corrobora a ausência de diferenças significativas para BRN, MNN e STD registrada neste estudo.

A resposta variável entre componentes de rendimento também encontra forte apoio na literatura. Gaweda et al. (2024), Colet et al. (2025) e Franzoni et al. (2023) afirmam que biostimulantes e reguladores geram incrementos pontuais em atributos como número de vagens e massa de grãos, porém ressaltam que esses efeitos dependem fortemente do ambiente. A mesma interpretação é reforçada por Tigga et al. (2024), que descrevem o rendimento como consequência do equilíbrio fisiológico entre crescimento vegetativo e reprodutivo. Esse comportamento explica por que, mesmo sem significância estatística nas análises univariadas para P1S, P2S, P3S e P4S, observou-se variabilidade numérica consistente que sugere mecanismos fisiológicos distintos induzidos pelos tratamentos.

Os padrões de correlação entre variáveis morfológicas e produtividade reforçam essa complexidade. Estudos de Kaya et al. (2024), Wang et al. (2023) e Rezende e Benett (2025) demonstram que a relação entre altura, número de ramos, número de vagens e rendimento depende de ajustes hormonais internos que podem ser fortalecidos ou prejudicados pela aplicação de reguladores. No presente estudo, tratamentos como Stimulate, StoppingGo e StartStop mostraram correlações positivas fortes entre rendimento e variáveis como P1S, P2S e PLH, comportamento compatível com o relatado por Tigga et al. (2024) e Cannon et al. (2025), que identificaram maior eficiência produtiva quando os reguladores favorecem a conversão reprodutiva em detrimento do excesso de crescimento vegetativo.

Em oposição, tratamentos como PR136 exibiram correlações negativas intensas entre produtividade e variáveis como TPD, TSD e STD. Esse padrão se alinha aos efeitos adversos relatados por estudos como os de Qu et al. (2025), Wang et al. (2023) e Barbosa et al. (2023), que descrevem que alterações hormonais desbalanceadas podem prejudicar o enchimento de grãos, elevar custos metabólicos e reduzir o rendimento final, mesmo quando a planta aparenta vigor estrutural. Da mesma forma, Biozyme apresentou comportamento heterogêneo e instável, uma característica semelhante à identificada por Franzoni et al. (2023), que observaram ampla variabilidade fisiológica em tratamentos com biostimulantes de diferentes origens.

A análise de cluster gerada neste estudo evidenciou perfis fisiológicos distintos entre reguladores, o que é coerente com pesquisas que empregam métodos multivariados na cultura da soja. Bandeira et al. (2024), Sangiovo et al. (2023) e Zardin et al. (2024) demonstram que a separação de grupos fisiológicos pelos padrões de dissimilaridade permite identificar assinaturas multivariadas robustas, mesmo quando nenhuma variável isolada apresenta significância estatística. Essa interpretação se aplica diretamente ao comportamento de Stimulate, agru-pado de forma isolada, e ao desempenho discrepante de PR136 e Biozyme, que se distanciaram substancialmente dos demais tratamentos no dendrograma.

A aplicação do índice de Smith Hazel reforça essa visão multivariada. Trabalhos metodológicos como os de Volpato et al. (2021) e Olivoto et al. (2021) mostram que índices multicaracterísticos são mais eficientes do que avaliações univariadas quando há intercorrelação entre variáveis, proporcionando seleção mais precisa do desempenho global. Zardin et al. (2024) e Sangiovo et al. (2023) também demonstram que a integração de múltiplos atributos permite identificar tratamentos superiores mesmo quando não há diferenças estatísticas isoladas, exatamente o que ocorreu no presente estudo, em que Stimulate, StoppingGo e PR136 emergiram como mais eficientes no ranking multivariado.

Os resultados obtidos também refletem observações de estudos comparativos entre diferentes reguladores, como os de Kaya et al. (2024), Gaweda et al. (2024) e Colet et al. (2025), que descrevem a elevada sensibilidade da soja às variações de formulação e interação com ambiente. A heterogeneidade de respostas observada nos tratamentos avaliados aqui segue o mesmo padrão relatado por Wang et al. (2023), que concluem que reguladores podem tanto promover ganhos fisiológicos quanto induzir efeitos antagônicos dependendo da plasticidade varietal e das condições de cultivo. Desse modo, a combinação de variáveis morfofisiológicas, correlações e análises multivariadas utilizadas neste estudo permite caracterizar de forma abrangente os efeitos dos reguladores e posicioná-los dentro do contexto atual da literatura científica.

Assim, ao integrar resultados univariados, correlações e análise multivariada, o presente estudo demonstra que os reguladores de crescimento alteram simultaneamente atributos estruturais e

produtivos, produzindo respostas complexas que seriam subestimadas por análises tradicionais isoladas. Os efeitos diferenciados de Stimulate, StoppingGo e PR136, e o desempenho inferior de Equaliza, StartStop e Biozyme reforçam que a avaliação integrada é essencial para orientar recomendações agronômicas precisas, como já discutido por Franzoni et al. (2023), Volpato et al. (2021) e Olivoto et al. (2021). Esses achados contribuem para o entendimento mais detalhado da ação fisiológica dos reguladores e oferecem bases sólidas para a melhoria das estratégias de manejo da cultura da soja.

5. CONCLUSÃO

Os resultados mostram que os reguladores de crescimento afetam a soja de forma integrada, e que apenas a análise multivariada revela essas diferenças com clareza. Entre os produtos avaliados, Stimulate apresentou o melhor desempenho geral e se destaca como a opção mais segura para uso no campo, enquanto StoppingGo e PR136 também demonstraram respostas consistentes e podem ser recomendados. Em contraste, Equaliza, StartStop e Biozyme exibiram comportamento fisiológico mais instável, reduzindo a segurança de sua indicação. Assim, recomenda-se que o produtor baseie suas escolhas em avaliações integradas, garantindo decisões mais precisas e alinhadas com o desempenho real da cultura. Novas pesquisas devem ser realizadas para aprofundar e confirmar esses resultados em diferentes condições de ambiente e manejo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L. H. C., Lobato, I. S., Sanches de Almeida, P. P., & Fregonezi, G. A. (2024). Productive performance of soybean *Glycine max* using lactofen as a growth regulator. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, 22(1), 1–10.
- Bandeira, W. J. A., Carvalho, S. P., Silva, A. B., & Lima, E. D. (2024). Genetic variability among soybean lineages based on seed morphological and agronomic markers. *Revista de Agricultura Neotropical*, 11(2), 1–12.
- Barbosa, A. S., Abreu, L. F., Oliveira, J. M., & Pimenta, A. S. (2023). Efeitos de reguladores vegetais na cultura da soja. *Revista R. A. M. A.*, 17(2), 22–35.
- Cannon, B. J., Jensen, S. E., North, S. L., & Wiersma, J. V. (2025). Physiological effects and economic impact of plant growth regulators in soybean under stress conditions. *Agronomy*, 15(4), 965.
- Cheng, H., Lin, X., & Zhu, Y. (2024). Effects of plant growth regulators on soybean growth, biomass allocation and yield. *Agronomy*, 14(2), 1152.
- Colet, F. C., Broch, D. L., & Albrecht, L. P. (2025). Environmental modulation of soybean response to commercial biostimulant products. *Agronomy Journal*, 117(2), 540–552.
- Colet, F. C., Broch, D. L., Santos, A. L., & Albrecht, L. P. (2025). Soybean yield response to biostimulant seed treatments in Argentina. *Agronomy Journal*, 117(1), 312–325.
- Franzoni, G., Vicentini, A., & Orzes, G. (2023). Effect of biostimulant raw materials on soybean *Glycine max* crop when applied alone or in combination with herbicides. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1122333.
- Gaweda, D., Staniak, M., Kwiecinska-Poppe, E., & Pastucha, A. (2024). The effect of herbicides and biostimulant application on the seed yield and seed quality of soybean *Glycine max* L. Merr. *Agronomy*, 14(9), 2174.
- Kaya, C., Turgut, C., & Genc, N. (2024). Thiourea-induced physiological and agronomic responses in soybean under water stress. *European Journal of Agronomy*, 155, 127038.
- Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.
- Olivoto, T., Nardino, M., & Schmidt, D. (2021). MGIDI toward an effective multivariate selection in biological experiments. *Bioinformatics*, 37(10), 1383–1389.
- Qu, Z., Liu, H., & Zhang, X. (2025). Effects of mepiquat chloride spraying on lodging resistance and yield characteristics of soybean. *International Agrophysics*, 39(1), 15–25.
- Rezende, L. S., & Benett, K. S. S. (2025). Aplicação de biorregulador em diferentes estádios fenológicos na cultura da soja. *Studies Publicações*, 4(1), 22–30.
- Sangiovo, J. P., Lemes, E. M., & Santos, D. F. (2023). Selection of soybean lines based on a nutraceutical ideotype. *Revista de Agricultura Neotropical*, 10(3), 1–10.

Steffler, V. A., Correa, M. J. P., & Camargo, R. A. (2023). Crescimento e componentes de rendimento da soja em função do uso de reguladores de crescimento vegetal. *Observatorio Latinoamericano de Agroecologia e Desenvolvimento*, 5(2), 44–58.

Tigga, P., Samal, P., & Singh, M. (2024). Effect of plant growth regulators on physiological productivity and seed quality of soybean *Glycine max* L. Merrill. *Biotechnology Journal International*, 28(4), 83–98.

Volpato, L., Andreotti, M., & Caron, B. O. (2021). Inference of population effect and progeny selection via a multi trait index in soybean breeding. *Acta Scientiarum Agronomy*, 43, e44623.

Wang, X., Li, Y., & Zhao, J. (2023). Regulation of soybean drought response by mepiquat chloride pretreatment. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1149114.

Wang, X., Li, Y., Yan, J., & Zhao, J. (2024). Application potential of mepiquat chloride in soybean improvement of yield characteristics and drought resistance. *BMC Plant Biology*, 24, 5028.

Zardin, N. G., Silva, T. R. B., & Ferreira, M. F. (2024). Agronomic aspects of soybean and predicted genetic gains based on multivariate models. *Agronomy Science and Biotechnology*, 10(1), 42–55.