

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ**

CLAUDIO CARLOS RAMALHO NETO

**DESEMPENHO MORFOLÓGICO E PRODUTIVO DA SOJA
SUBMETIDA A DIFERENTES MANEJOS COM
ESTRUTURADORES VEGETAIS**

**URUTAÍ - GOIÁS
2025**

CLAUDIO CARLOS RAMALHO NETO

**DESEMPENHO MORFOLÓGICO E PRODUTIVO DA SOJA
SUBMETIDA A DIFERENTES MANEJOS COM
ESTRUTURADORES VEGETAIS**

Trabalho de Curso apresentado ao IF Goiano Campus Urutaí como parte das exigências do Curso de Graduação em Agronomia para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Igor de Azevedo Pereira.

**URUTAÍ - GOIÁS
2025**

CLAUDIO CARLOS RAMALHO NETO

**DESEMPENHO MORFOLÓGICO E PRODUTIVO DA SOJA
SUBMETIDA A DIFERENTES MANEJOS COM
ESTRUTURADORES VEGETAIS**

Monografia apresentada ao IF
Goiano Campus Urutaí como parte
das exigências do Curso de
Graduação em Agronomia para
obtenção do título de Bacharel em
Agronomia.

Aprovada em 22 de dezembro de 2025



Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira
(Orientador e Presidente da Banca Examinadora)
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí.

Carmen Rosa da Silva Curvêlo
Profª. Drª. Carmen Rosa da Silva Curvêlo
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí



Dr. João Batista Coelho Sobrinho
Bolsista Pós-Doc
Centro de Excelência em Bioinsumos
CEBIO

URUTAÍ - GOIÁS
2025

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

R166 Ramalho Neto, Claudio Carlos
 DESEMPENHO MORFOLÓGICO E PRODUTIVO DA SOJA
 SUBMETIDA A DIFERENTES MANEJOS COM
 ESTRUTURADORES VEGETAIS / Claudio Carlos Ramalho
 Neto. Urutai 2025.

25f. il.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0120024 -
Bacharelado em Agronomia - Urutai (Campus Urutai).
I. Título.

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 resarcimento 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

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

- Produto técnico e educacional - Tipo: []

Nome completo do autor:
Claudio Carlos Ramalho Neto

Matrícula:
2018101200240356

Título do trabalho:

DESEMPENHO MORFOLÓGICO E PRODUTIVO DA SOJA SUBMETIDA A DIFERENTES MANEJOS COM ESTRUTURADORES VEGETAIS

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 30 /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 inclusos 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.

Urutai, Goiás

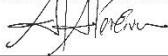
Local

13 /01 /2026

Data



Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais



Assinatura do(a) orientador(a)

Ciente e de acordo:

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO**

Campus Urutai - Código INEP: 52063909
Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2,5, CEP 75790-000, Urutai (GO)
CNPJ: 10.651.417/0002-59 - Telefone: (64) 3465-1900

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **Desempenho morfológico e produtivo da soja submetida a diferentes manejos com estruturadores vegetais**, sob orientação de Alexandre Igor de Azevedo Pereira, apresentada pelo aluno **Cláudio Carlos Ramalho Neto (2018101200240356)** do Curso **Bacharelado em Agronomia (Campus Urutai)**. Os trabalhos foram iniciados às 08:00 pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Alexandre Igor de Azevedo Pereira** (Presidente)
- **Carmen Rosa da Silva Curvelo** (Examinadora Interna)
- **João Batista Coelho Sobrinho** (Examinador Externo)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado

Reprovado

Nota (quando exigido): 9,0

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Alexandre Igor de Azevedo Pereira** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Carmen Rosa da Silva Curvelo

Carmen Rosa da Silva Curvelo

URUTAI / GO, 22 de dezembro de 2025.

A.I.Pereira

Alexandre Igor de Azevedo Pereira

João Batista Coelho Sobrinho

João Batista Coelho Sobrinho

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e família, que me apoaram 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.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUÇÃO.....	10
MATERIAL E MÉTODOS.....	11
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

DESEMPENHO MORFOLÓGICO E PRODUTIVO DA SOJA SUBMETIDA A DIFERENTES MANEJOS COM ESTRUTURADORES VEGETAIS

Claudio Carlos Ramalho Neto¹

⁽¹⁾ Instituto Federal Goiano Campus Urutaí, Rodovia Prof. Geraldo Silva Nascimento, Km 2,5, CEP 75790-000 Urutaí, GO, Brasil. E-mail: claudio.ramalho@estudante.ifgoiano.edu.br

RESUMO - A produtividade da soja é um caráter complexo, influenciado por variáveis morfológicas, fisiológicas e de manejo, exigindo abordagens integradas para compreender sua determinação. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho morfológico e produtivo da soja submetida a diferentes manejos com estruturadores vegetais, identificando características determinantes do rendimento e o tratamento mais próximo do ideótipo ideal. O experimento foi conduzido em campo, sob delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em aplicações de Vigora, Arquiteto, Impulse + Vital e KS + Vital, em diferentes estádios fenológicos, além da testemunha. Foram avaliadas características estruturais e reprodutivas, e os dados submetidos à MANOVA, correlação de Pearson, análise de trilha e índice MGIDI. A MANOVA indicou diferenças multivariadas significativas entre os tratamentos. O diâmetro do caule e o peso de mil grãos foram os principais determinantes do rendimento. A análise de trilha destacou o diâmetro do caule como a variável de maior efeito direto, enquanto o MGIDI identificou o tratamento RVCb (Vigora em V4) como o mais próximo do ideótipo ideal. Conclui-se que estruturadores vegetais podem melhorar a arquitetura e o desempenho produtivo da soja, especialmente quando aplicados no estádio adequado.

Palavras-chave: *Glycine max*, bioestimulantes, análise multivariada, produtividade, correlações.

**MORPHOLOGICAL AND PRODUCTIVE PERFORMANCE OF SOYBEANS
SUBJECTED TO DIFFERENT MANAGEMENT PRACTICES WITH PLANT
STRUCTURERS**

Claudio Carlos Ramalho Neto¹

⁽¹⁾ Instituto Federal Goiano Campus Urutaí, Rodovia Prof. Geraldo Silva Nascimento, Km 2,5, CEP 75790-000 Urutaí, GO, Brasil. E-mail: claudio.ramalho@estudante.ifgoiano.edu.br

ABSTRACT - Soybean yield is a complex trait, influenced by morphological, physiological, and management variables, requiring integrated approaches to understand its determination. Accordingly, the objective of this study was to evaluate the morphological and productive performance of soybean subjected to different management strategies using plant growth structuring agents, identifying yield-determining traits and the treatment closest to the ideal ideotype. The experiment was conducted under field conditions, using a randomized complete block design with six treatments and four replications. Treatments consisted of applications of Vigora, Arquiteto, Impulse + Vital, and KS + Vital at different phenological stages, in addition to an untreated control. Structural and reproductive traits were evaluated, and the data were subjected to MANOVA, Pearson correlation, path analysis, and the MGIDI index. MANOVA indicated significant multivariate differences among treatments. Stem diameter and thousand-grain weight were the main determinants of yield. Path analysis highlighted stem diameter as the variable with the greatest direct effect, while MGIDI identified the RVCb treatment (Vigora at V4) as the closest to the ideal ideotype. It is concluded that plant growth structuring agents can improve soybean architecture and productive performance, especially when applied at the appropriate growth stage.

Key-words: Glycine max, biostimulants, multivariate analysis, productivity, correlations.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais culturas agrícolas do mundo e apresenta desempenho altamente influenciado por fatores morfofisiológicos, ambientais e de manejo. A produtividade é reconhecida como um caráter complexo, resultante de múltiplas interações entre componentes vegetativos e reprodutivos, exigindo abordagens analíticas capazes de capturar relações multidimensionais entre variáveis (Silva, Carvalho & Santos, 2020; Souza et al., 2010). Em genótipos avaliados por análises multivariadas, Dunna et al. (2023) demonstraram que caracteres vegetativos e reprodutivos tendem a se agrupar de forma consistente, reforçando a necessidade de análises sistêmicas para interpretar adequadamente a variabilidade produtiva.

Entre os componentes primários do rendimento, o número de vagens, o número de grãos por planta e a massa de sementes figuram entre os mais determinantes. Trabalhando com 173 genótipos de soja, Li et al. (2020) identificaram que o número de nós, o número de vagens e a massa de sementes são os componentes mais fortemente associados ao alto rendimento, independentemente da latitude, consolidando a importância desses atributos como indicadores produtivos. Estudos clássicos de análise de trilha também evidenciam que o peso de mil grãos e o número de vagens exercem efeitos diretos expressivos sobre o rendimento final (Silva, Carvalho & Santos, 2020; Souza et al., 2010), reafirmando sua relevância fisiológica.

A arquitetura da planta é outro fator estrutural decisivo. Rosa et al. (2021) observaram que modificações na altura e no comprimento de entrenós, associadas ao aumento do diâmetro do caule, melhoram a interceptação luminosa e a distribuição de defensivos no dossel. De forma complementar, Zhou et al. (2025) demonstram que altura, número de nós e ramificação são regulados por redes genéticas integradas, de modo que mudanças estruturais tendem a influenciar diversas características simultaneamente. A robustez do caule, além disso, está diretamente ligada ao transporte eficiente de fotoassimilados e à estabilidade mecânica da planta (Tigga et al., 2024), justificando sua forte associação com o rendimento.

Nesse contexto, cresce o interesse pelo uso de bioestimulantes e reguladores de crescimento como ferramentas de manejo para otimizar o desenvolvimento vegetal. Bioestimulantes podem promover germinação, emergência, crescimento radicular, eficiência fotossintética e tolerância a estresses (Amoanima-Dede et al., 2022; Szparaga et al., 2018). Em soja, Franzoni et al. (2023) destacam que matérias-primas

bioestimulantes podem aumentar crescimento e desempenho mesmo quando aplicadas isoladamente ou associadas a herbicidas. Aplicações foliares de reguladores, por sua vez, também demonstraram efeitos significativos no desenvolvimento e na produtividade, dependendo da dose e do estádio fenológico (Rezende et al., 2025; Wang et al., 2025). No entanto, a literatura enfatiza que as respostas não são universais. Carvalho Gaia & Bittencourt (2021) e Silva, Melo & Ribeiro (2023) observaram ausência de efeitos significativos de alguns produtos, reforçando a dependência das interações produto × ambiente × cultivar.

Diante desse cenário, abordagens estatísticas multivariadas, como MANOVA, análise de trilha e o índice MGIDI (Olivoto & Nardino, 2020), tornam-se imprescindíveis para integrar múltiplas características de forma robusta. Assim, o presente estudo avaliou o desempenho morfológico e produtivo de soja submetida a diferentes manejos com estruturadores vegetais, utilizando técnicas multivariadas para identificar atributos determinantes do rendimento e caracterizar o tratamento mais próximo do ideótipo ideal.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido na Fazenda Morro do Peão ($17^{\circ} 17' 59''$ S latitude, $48^{\circ} 16' 46''$ 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 utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições e seis tratamentos, correspondentes a diferentes manejos com estruturadores vegetais na cultura da soja (Tabela 1). Cada parcela experimental foi composta por oito linhas de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,45 m, resultando em área útil de 18 m². Utilizou-se a cultivar Brasmax Olimpo IPRO, grupo de maturação 7.7. A semeadura foi realizada em 30 de dezembro de 2024 e o tratamento de sementes foi efetuado conforme recomendação de bula.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos com estruturadores vegetais e épocas fenológicas de aplicação na soja.

Tratamento	Produto	Dose	Época
RVCa	Testemunha	-	-
RVCb	Vigora	1 L/ha	V4

RVCc	Arquiteto	300 mL/ha	V4
RVCd	Impulse + Vital	500 mL/ha + 150 mL/ha	R1
RVCe	KS + Vital	500 mL/ha + 150 mL/ha	R5.1
	Vigora	1 L/ha	V4
RVCf	Arquiteto	300 mL/ha	V4
	Impulse + Vital	500 mL/ha + 150 mL/ha	R1
	KS + Vital	500 mL/ha + 150 mL/ha	R5.1

A adubação de base foi realizada com 220 kg ha⁻¹ de MAP (09–52–00) aplicado no sulco de plantio. O cloreto de potássio (KCl) foi utilizado em cobertura na dose total de 180 kg ha⁻¹, parcelada em três aplicações (20%, 40% e 40%) aos 1, 20 e 40 dias após a semeadura.

As pulverizações foram realizadas com pulverizador pressurizado a CO₂, equipado com barra contendo seis pontas do tipo leque, sob pressão constante de 2 bar e espaçamento de 0,50 m entre bicos, proporcionando volume de calda de 120 L ha⁻¹. O controle fitossanitário foi realizado conforme a necessidade, respeitando as boas práticas agrícolas e os princípios do manejo integrado de pragas (QUINTELA, 2001).

Ao término do ciclo, em 25 de abril de 2025, foram coletadas 30 plantas ao acaso na área útil de cada parcela para determinação das variáveis agronômicas. A altura de planta (ALT, cm) foi medida do colo ao ápice da haste principal com fita métrica; o diâmetro do caule (DIA, mm) foi mensurado na base do caule com paquímetro digital; o número de nós na haste principal (NNP) foi obtido por contagem manual dos nós visíveis; o número de ramos produtivos (NRP) correspondeu à contagem dos ramos laterais que apresentaram vagens com grãos; o número total de vagens por planta (NGRA_PL) foi determinado pela contagem de todas as vagens presentes na haste principal e nos ramos produtivos; o número de grãos por vagem (NGVAG) foi obtido a partir da média de 20 vagens aleatórias por parcela; o peso de mil sementes (PMS, g) foi calculado a partir de amostras de 100 sementes, ajustadas para 13% de umidade e multiplicadas por dez; e a produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹) foi estimada pela colheita da área útil de cada parcela, com correção dos rendimentos para 13% de umidade.

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos à verificação dos pressupostos do modelo estatístico, avaliando-se a normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro–Wilk

$$W = \frac{(\sum a_i x_{(i)})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett, adotando-se nível de significância de 5%.

$$\chi^2 = \frac{(N - k)\ln(S_p^2) - \sum (n_i - 1)\ln(S_i^2)}{1 + \frac{1}{3(k - 1)}\left(\sum \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{N - k}\right)}$$

Atendidas as premissas, procedeu-se à análise de variância multivariada (MANOVA), considerando o modelo geral:

$$Y = XB + E$$

em que Y representa a matriz de respostas, X a matriz de delineamento, B o vetor de efeitos fixos e E o erro experimental. O teste de Wilks' Lambda (Λ) foi empregado para avaliar o efeito conjunto dos tratamentos:

$$Y = XB + E$$

sendo E a matriz de variâncias e H a matriz de hipóteses. O valor máximo da raiz de Roy foi utilizado como medida complementar de discriminação multivariada.

As relações lineares entre as variáveis foram determinadas por meio da correlação de Pearson, conforme a expressão:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

O conjunto de variáveis explicativas foi posteriormente avaliado pela análise de trilha (path analysis), que decompondo os coeficientes de correlação em efeitos diretos e indiretos sobre o rendimento de grãos:

$$r_{ij} = P_{ij} + \sum_{k \neq j} P_{ik}r_{kj}$$

onde P_{ij} representa o efeito direto da variável i sobre a variável dependente j, e o termo somatório expressa os efeitos indiretos mediados por outras variáveis. O coeficiente de determinação (R^2) e o erro residual (ε) foram utilizados para avaliar o ajuste do modelo:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum e_i^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

A divergência entre os tratamentos foi mensurada por meio do índice MGIDI (Multi-trait Genotype–Ideotype Distance Index), conforme proposto por Olivoto e Nardino (2020), utilizando a distância euclidiana entre o genótipo e o ideótipo ideal:

$$MGIDI_g = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\hat{f}_{gj} - \hat{f}_{ij})^2}$$

em que \hat{f}_{gj} e \hat{f}_{ij} são os escores padronizados do genótipo e do ideótipo, respectivamente.

Todas as análises estatísticas e representações gráficas foram realizadas no software R (R Core Team, 2025), com auxílio dos pacotes metan, ggplot2, Hmisc e tidyverse. Essa abordagem multivariada permitiu uma avaliação integrada e robusta dos efeitos dos estruturadores vegetais sobre as características morfológicas e produtivas da soja.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância multivariada (MANOVA) baseada no teste de Wilks evidenciou efeito significativo dos tratamentos sobre o conjunto de características avaliadas ($p < 0,001$), demonstrando que os diferentes manejos com estruturadores vegetais promoveram alterações expressivas na morfologia e no desempenho produtivo da soja (Tabela 2). A significância do efeito de blocos ($p < 0,01$) indica a presença de variação ambiental entre repetições, adequadamente controlada pelo delineamento experimental. Além disso, o elevado valor da raiz maior de Roy reforça a clara discriminação multivariada entre os tratamentos, justificando a continuidade das análises complementares de correlação, trilha e MGIDI para aprofundar a interpretação dos resultados.

Tabela 2. Resumo da análise de variância multivariada (MANOVA) com base no teste de Wilks, considerando os efeitos de repetição e tratamentos.

Fonte	Df	Roy	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Tratamentos	5	8.982281	8.982281	10	10	0.000898
Blocos	3	10.74749	8.597989	10	8	0.002776
Residuals	15					

Dando seguimento às análises, a matriz de correlação de Pearson (Figura 1) revelou relações consistentes entre os atributos morfológicos e produtivos da cultura. O rendimento de grãos (REN) correlacionou-se positivamente com o diâmetro do caule (DC), altura de planta (AP), número de vagens com três grãos (NVG3) e, principalmente, com o número de vagens com quatro grãos (NVG4), sugerindo que plantas mais robustas e com maior proporção de vagens de maior potencial produtivo tendem a expressar rendimentos superiores. O forte agrupamento entre NVG2, NVG3 e NVG4 ($r \geq 0,80^{***}$) evidencia a interdependência entre os componentes reprodutivos, que em conjunto contribuem para definir a capacidade produtiva das plantas.

Por outro lado, a correlação negativa entre o número de nós na haste principal (NNH) e o número de ramos laterais (NRL) ($r = -0,46^*$) sugere um possível mecanismo de compensação estrutural: plantas com maior emissão de nós podem apresentar menor ramificação lateral, influenciando de forma indireta a distribuição de vagens na planta. As correlações significativas destacadas na Figura 4b reforçam a importância de DC, NVG3 e NVG4 como indicadores morfofisiológicos diretamente associados ao rendimento, apontando para a necessidade de confirmar esses padrões por meio de análises causais.

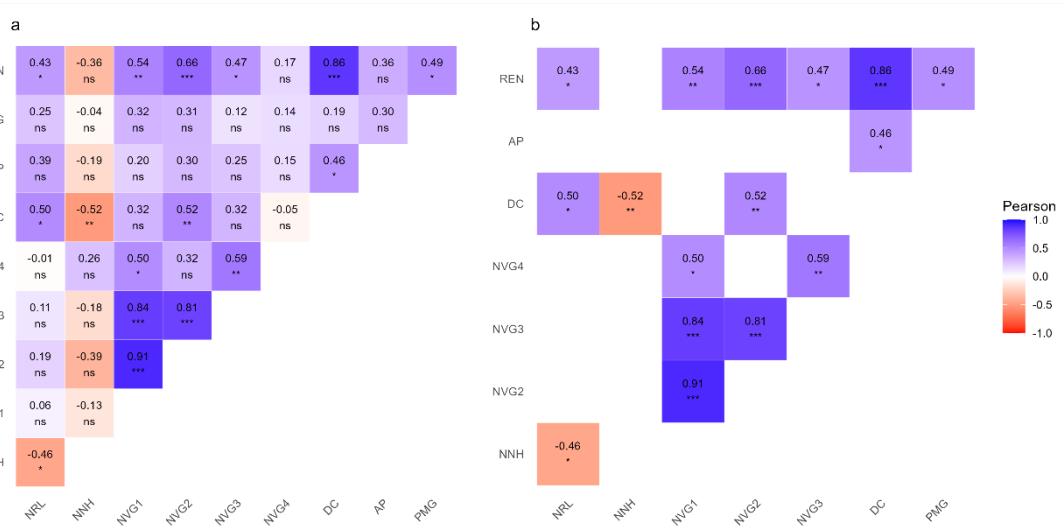


Figura 1. Correlação de Pearson entre variáveis morfológicas e produtivas. a) todas as correlações. b) Destaque para as correlações estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Nesse contexto, a análise de trilha (Figura 2) contribui para aprofundar a interpretação das relações identificadas. O modelo apresentou elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,915$), demonstrando que as variáveis morfológicas consideradas explicam 91,5% da variação observada no rendimento de grãos. O diâmetro do caule (DC) foi a variável com maior efeito direto positivo (0,87), confirmando seu papel determinante como atributo estrutural associado ao transporte de fotoassimilados, sustentação e estabilidade da planta. O peso de mil grãos (PMG), com efeito direto expressivo (0,35), reforça sua relevância como componente final de rendimento, integrando processos de enchimento de grãos e eficiência fisiológica.

O número de vagens com três grãos (NVG3) apresentou efeito direto moderado (0,17), enquanto NNH e NVG4 mostraram efeitos diretos de menor magnitude. Ainda que NVG4 tenha demonstrado correlação alta com REN, seu efeito direto reduzido sugere

que sua contribuição ocorre majoritariamente de forma indireta, mediada por outras características estruturais. A altura de planta (AP), com efeito direto negativo ($-0,18$), indica que incrementos excessivos na estatura podem resultar em maior competição interna por assimilados, nem sempre se traduzindo em maior rendimento. De forma coerente, NRL não apresentou contribuição direta, reforçando sua atuação indireta no sistema produtivo. Esses achados confirmam que caracteres relacionados à robustez, equilíbrio da arquitetura e eficiência fisiológica, especialmente DC e PMG, são determinantes para o desempenho produtivo da soja.

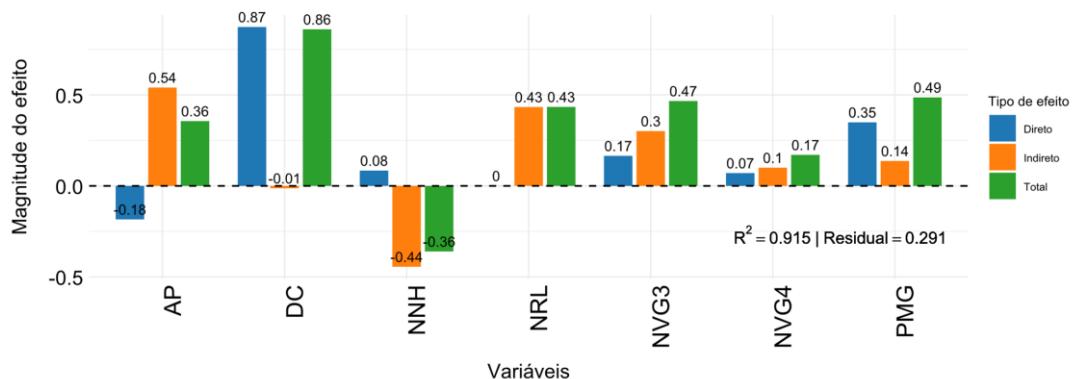


Figura 2. Efeitos diretos, indiretos e totais das variáveis explicativas sobre o rendimento de grãos de soja.

A análise via índice MGIDI (Figura 3) integrou a informação multivariada em um único parâmetro de desempenho global. O tratamento RVCb apresentou o menor valor do índice, configurando-se como o mais próximo do ideótipo ideal. A disposição dos tratamentos no gráfico polar evidencia nitidamente a distância relativa entre eles: valores menores refletem maior equilíbrio entre os caracteres morfológicos e produtivos. Assim, RVCb destacou-se como o manejo mais eficiente dentro das condições experimentais, enquanto os demais tratamentos exibiram desempenho inferior devido à maior distância multivariada em relação ao ideótipo.

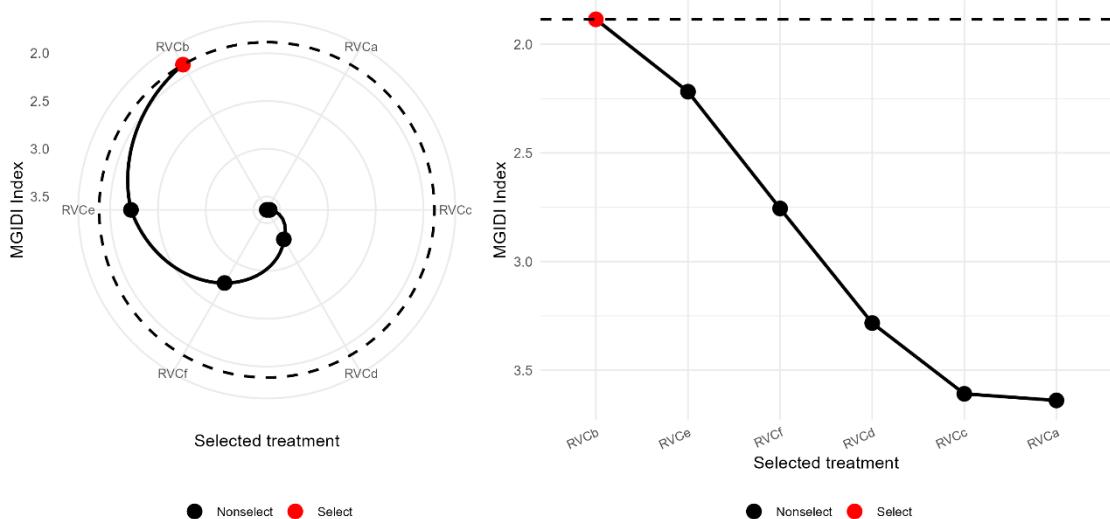


Figura 3: a. Representação polar dos valores do índice MGIDI (Multi-trait Genotype–Ideotype Distance Index) para os diferentes tratamentos. b. Classificação dos tratamentos com base na distância ao ideótipo ideal, conforme o índice MGIDI.

De forma integrada, os resultados das diferentes abordagens — MANOVA, correlação, análise de trilha e MGIDI — apresentam grande coerência entre si. A MANOVA confirmou a existência de diferenças multivariadas significativas entre os tratamentos; a correlação de Pearson identificou os principais componentes produtivos associados ao rendimento; a análise de trilha elucidou as relações causais e quantificou os efeitos diretos e indiretos; e o MGIDI sintetizou essas informações, permitindo ranquear os tratamentos com base no desempenho global.

Conjuntamente, essas evidências demonstram que variáveis ligadas à arquitetura e à robustez das plantas, notadamente o diâmetro do caule, o número de vagens por planta e o peso de mil grãos, desempenham papel central na determinação da produtividade da soja. Entre os manejos avaliados, o tratamento RVCb proporcionou o conjunto mais equilibrado de características, aproximando-se do ideótipo ideal e resultando em melhor desempenho produtivo.

Esses resultados reforçam a eficácia do uso de estruturadores vegetais na otimização do desenvolvimento da soja e destacam a importância da escolha adequada do produto e da época de aplicação. Assim, o emprego de manejos como o RVCb constitui alternativa promissora para aumentar a eficiência produtiva da cultura, oferecendo subsídios técnicos sólidos para recomendações de manejo em condições de campo.

Os resultados multivariados obtidos neste estudo demonstram que as estruturas vegetais influenciaram de maneira significativa a morfologia e o desempenho produtivo da soja, o que está em consonância com a literatura ao afirmar que o rendimento é um caráter complexo, dependente de múltiplos componentes e altamente sensível ao ambiente. Em trabalhos que analisam componentes de produção por métodos multivariados e análise de trilha, observa-se que a produtividade é determinada pela interação entre variáveis estruturais e reprodutivas, sendo necessário avaliá-las de forma integrada (Silva, Carvalho & Santos, 2020; Karyawati & Puspitaningrum, 2021). O emprego de MANOVA e MGIDI segue a tendência observada em estudos com análise de componentes principais, nos quais igualmente se verificaram agrupamentos consistentes entre características vegetativas e reprodutivas da soja (Dunna et al., 2023).

A forte associação observada aqui entre rendimento, diâmetro do caule, peso de mil grãos e número de vagens é compatível com estudos que identificaram esses componentes como fundamentais para a seleção indireta de manejos produtivos. Trabalhando com 173 genótipos de soja, Li, Liu e Wang (2020) observaram que o número de nós, o número de vagens, o número de grãos por planta e a massa de sementes são os componentes mais benéficos e fortemente relacionados ao alto rendimento, independentemente da latitude. De maneira semelhante, análises de trilha conduzidas em diferentes regiões brasileiras apontaram que a massa de mil grãos e o número de vagens exercem os maiores efeitos diretos sobre o rendimento (Souza et al., 2010; Silva, Carvalho & Santos, 2020), confirmando o padrão identificado neste estudo.

A análise de trilha apresentada mostrou que o diâmetro do caule exerceu o maior efeito direto sobre o rendimento. Esse resultado corrobora com estudos fisiológicos que demonstram que caules mais espessos estão associados à maior capacidade de transporte de fotoassimilados, maior estabilidade estrutural e maior tolerância a estresses mecânicos e ambientais (Tigga et al., 2024). O peso de mil grãos também apresentou efeito direto expressivo, fato amplamente relatado em análises multivariadas de soja por estar fortemente influenciado pela assimilação e redistribuição de carbono (Franzoni et al., 2023). Os efeitos indiretos observados para o número de vagens com três e quatro grãos são consistentes com a literatura, que frequentemente demonstra que a contribuição desses caracteres ocorre mediada por outras variáveis estruturais (Souza et al., 2010; Karyawati & Puspitaningrum, 2021).

A correlação negativa entre número de nós na haste principal e número de ramos laterais sugere um mecanismo de compensação arquitetônica, compatível com estudos

que abordam a base genética e morfológica da arquitetura da soja. Zhou et al. (2025) descrevem que características como altura, número de nós, ramificação e comprimento de entrenós são regulados por redes genéticas integradas, de modo que alterações em um desses componentes podem modificar os demais. Em consonância, Rosa et al. (2021) indicaram que modificações arquiteturais obtidas por meio de reguladores de crescimento, especialmente reduções na altura e no comprimento de entrenós, associadas ao aumento do diâmetro do caule, favorecem maior interceptação de luz e melhor distribuição de defensivos no dossel.

O efeito direto negativo da altura de planta sobre o rendimento evidencia que o crescimento excessivo não necessariamente se traduz em maior produtividade, resultado já observado em experimentos que avaliaram reguladores de crescimento aplicados em V3, nos quais plantas mais altas apresentaram maior sombreamento interno e menor eficiência fotossintética (Rosa et al., 2021). Esse padrão reforça a interpretação de que arquiteturas mais equilibradas, com robustez de caule e boa distribuição de vagens, são mais desejáveis.

A eficácia do índice MGIDI na síntese do desempenho global dos tratamentos confirma a utilidade de abordagens multivariadas para classificar genótipos ou manejos agronômicos em função de múltiplas características. Estudos com soja revelam que análises de componentes principais são eficientes para agrupar genótipos com base em seu desempenho multivariado (Dunna et al., 2023), e o MGIDI cumpre função semelhante ao integrar características morfológicas e produtivas. Assim, o destaque do tratamento RVCb neste estudo, por apresentar o menor valor do índice, indica que esse manejo foi o mais equilibrado entre vigor vegetativo, arquitetura e rendimento.

Os resultados aqui apresentados também se alinham a estudos que relatam respostas positivas ao uso de bioestimulantes e reguladores de crescimento em soja. Silva et al. (2024) relataram que o tratamento de sementes com diferentes bioestimulantes aumentou a emergência, o desenvolvimento inicial e, em alguns casos, a produtividade. Em aplicações foliares, Rezende et al. (2025) verificaram que diferentes doses e épocas de aplicação de biorreguladores alteraram de forma significativa o desenvolvimento da cultura, reforçando a importância do estádio fenológico, fator-chave no manejo RVCb. Trabalhos com reguladores de crescimento também constataram ganhos expressivos em crescimento, parâmetros fisiológicos (fotossíntese, estresse oxidativo) e componentes de produção (Wang et al., 2025), corroborando os efeitos identificados neste estudo.

Contudo, a literatura também destaca que respostas a bioestimulantes não são universais. Carvalho Gaia & Bittencourt (2021), ao avaliarem o fitorregulador Stimulate®, observaram que, embora tenha havido aumento do comprimento radicular, não foram verificadas diferenças significativas no vigor ou na germinação. Do mesmo modo, Silva, Melo e Ribeiro (2023) relataram ausência de efeito do bioestimulante Agri Gold® (*Ascophyllum nodosum*) sobre crescimento e produtividade, reforçando que os resultados dependem da interação produto × ambiente × cultivar. Dobicz e Borsoi (2024), ao avaliarem o uso de benziladenina em diferentes estádios da soja, não encontraram diferenças em produtividade ou arquitetura, contrastando com o efeito positivo observado no feijoeiro (Silva & Duarte, 2020), evidenciando que citocininas não respondem da mesma forma entre leguminosas.

Estudos de revisão ressaltam que reguladores de crescimento podem atuar como moduladores hormonais importantes, promovendo divisão celular, expansão foliar, maior atividade fotossintética e maior tolerância ao estresse, mas alertam que a resposta depende fortemente da dose, do produto e do momento de aplicação (Amoanima-Dede et al., 2022). Pesquisas sobre bioestimulantes sintéticos também relatam efeitos que vão além do rendimento, incluindo aumento do potencial antioxidante e nutracêutico das sementes (Szparaga et al., 2018) e melhoria da simbiose soja–rizóbio e do metabolismo do nitrogênio (Chen et al., 2023). Esses resultados complementam a interpretação obtida para o manejo RVCb ao sugerir que parte de seu desempenho pode estar associada ao aumento da eficiência fisiológica da planta.

De forma integrada, os resultados deste estudo e as 19 publicações analisadas indicam que variáveis associadas à arquitetura e à robustez da planta, como diâmetro do caule, número de vagens e peso de mil grãos, são determinantes para a produtividade. Reforça-se também que bioestimulantes e reguladores de crescimento podem potencializar essas características, mas seu efeito depende da interação entre produto, dose, estádio de aplicação, cultivar e condições edafoclimáticas. Por fim, confirma-se que abordagens multivariadas são indispensáveis para selecionar manejos mais equilibrados, conforme demonstrado pelo desempenho superior do tratamento RVCb. Esses resultados justificam a continuidade de pesquisas que integrem fisiologia, genética, arquitetura e estatística multivariada para aprimorar recomendações de manejo com estruturadores vegetais em diferentes sistemas produtivos.

CONCLUSÃO

Os estruturadores vegetais influenciaram significativamente o desenvolvimento e o rendimento da soja. O diâmetro do caule, o peso de mil grãos e o número de vagens por planta foram os principais determinantes da produtividade. O tratamento RVCb, com aplicação de Vigora em V4, apresentou o melhor desempenho multivariado e maior proximidade ao ideótipo ideal, destacando-se como manejo promissor para aumentar a produtividade da cultura. Ainda assim, estudos adicionais em diferentes ambientes são necessários para confirmar e ampliar essas recomendações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amoanimaa-Dede, H.; Su, C.; Yeboah, A.; Zhou, H.; Zheng, D.; Zhu, H. Reguladores de crescimento promovem a produtividade da soja: uma revisão. PeerJ, 10, e12556, 2022.

Chen, W.; Li, J.; Yuan, H.; You, L.; Wei, Q.; Feng, R.; Zhao, X. Reguladores de crescimento vegetal melhoram o metabolismo do nitrogênio, o rendimento e a qualidade da simbiose soja-rizóbio. Annals of Microbiology, 73(1), 15, 2023.

Carvalho Gaia, M. P., & Bittencourt, M. J. (2021). Germinação de soja (*Glycine max*) com aplicação de fitorregulador. Revista Agroveterinária, 6(2).

Dobicz, J.; Borsoi, A. Uso do regulador de crescimento à base de benziladenina em diferentes estádios da cultura da soja. Revista Agrária, 17(63), 75-83, 2024.

Dunna, DS; Heisnam, ND; Thokchom, RD; Sinha, B.; Singh, O. Análise de componentes principais entre genótipos de soja hortaliça (*Glycine max* L. Merrill). Environment Conservation Journal, 24(3), 79-86, 2023.

Franzoni, G.; Bulgari, R.; Florio, FE; Gozio, E.; Villa, D.; Cocetta, G.; Ferrante, A. Efeito de matérias-primas bioestimulantes na cultura da soja (*Glycine max*), quando aplicadas isoladamente ou em combinação com herbicidas. Frontiers in Agronomy, 5, 1238273, 2023.

Karyawati, AS; Puspitaningrum, ESV Correlação e análise de caminho para características agronômicas que contribuem para o rendimento em 30 genótipos de soja. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 22(3), 2021.

Li, M.; Liu, Y.; Wang, C.; Yang, X.; Li, D.; Zhang, X.; Zhao, L. Identificação de características que proporcionam rendimentos elevados e resultados em diferentes variedades de soja em três latitudes chinesas. Fronteiras na Ciência Vegetal, 10, 1642, 2020.

Rezende, LS; Benett, CGS; Arruda, N.; Morais, YCR; Campos, AO; de Oliveira, LNA; Benett, KSS Aplicação de biorregulador em diferentes estádios fenológicos na cultura da soja. Caderno Pedagógico, 22(4), e14290, 2025.

Rosa, WP; Caverzan, A.; Chavarria, G. Modificação da arquitetura da planta de soja através de reguladores de crescimento e variação populacional. Australian Journal of Crop Science, 15(12), 1459-1465, 2021.

Silva, T.C.; Lopes, LE; Rodrigues, DMP; Barbosa, R.T.; Aguilera, JG; Steiner, F. Desempenho agronômico da soja em resposta ao tratamento da semente com bioestimulantes. Tendências em Ciências Agrícolas e Ambientais, e240005, 2024.

Silva, MS; Melo, RD; Ribeiro, LP Ausência de efeito do bioestimulante Agri Gold® na cultura da soja. Agricultura em Foco, 15(2), 99-106, 2023.

Silva, C.; Duarte, L. Efeito de citocininas em feijoeiro e soja. Revista da Agronomia, 12(1), 50-57, 2020.

Silva, JS; Carvalho, NP; Santos, TF Análise da trilha aplicada à produtividade da soja. Revista Ciência Agrícola, 40(2), 200-211, 2020.

Souza, Jr; Costa, JA; Bahr, EG; Faria, MV; Silva, WB; de Souza, TG Análise da trilha para componentes da produção de soja. Revista Ciência Agronômica, 41(3), 330-336, 2010.

Szparaga, A.; Kocira, S.; Kocira, A.; Czerwińska, E.; Świeca, M.; Lorencowicz, E.; Oniszczuk, T. Modificação do crescimento, rendimento e potencial nutracêutico e antioxidante da soja através do uso de bioestimulantes sintéticos. Frontiers in Plant Science, 9, 1401, 2018.

Tigga, P.; Samaiya, RK; Singh, Y.; Banerjee, J. Efeito de reguladores de crescimento vegetal na produtividade fisiológica e na qualidade de sementes de soja [*Glycine Max* (L.) Merrill]. Biotechnology Journal International, 28(4), 83-98, 2024.

Wang, X.; Zhang, Y.; Zhang, J.; Li, X.; Jiang, Z.; Dong, S. Efeitos de DA-6 e MC no crescimento, fisiologia e características de rendimento da soja. BMC Plant Biology, 25(1), 304, 2025.

Zhou, C.; Wang, H.; Zhu, X.; Li, Y.; Zhang, B.; Tadegé, M.; Xia, Z. Genómica funcional: da soja às leguminosas. Jornal Internacional de Ciências Moleculares, 26(13), 6323, 2025.