



AFRÂNIO GABRIEL DA SILVA GODINHO SANTIAGO

**IMPACTOS DO REGULADOR DE CRESCIMENTO TIBA
EM GENÓTIPOS DE SOJA**

**LAVRAS - MG
2025**

AFRÂNIO GABRIEL DA SILVA GODINHO SANTIAGO

**IMPACTOS DO REGULADOR DE CRESCIMENTO TIBA EM GENÓTIPOS DE
SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

**LAVRAS - MG
2025**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Santiago, Afrânio Gabriel da Silva Godinho.

Impactos do regulador de crescimento tibia em genótipos de soja / Afrânio Gabriel da Silva Godinho Santiago. - 2025.

51 p.

Orientador: Adriano Teodoro Bruzi

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.

Bibliografia.

1. Glycine max. 2. Ácido 2,3,5-triidobenzóico. 3. Acamamento . I. Teodoro Bruzi, Adriano. II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

AFRÂNIO GABRIEL DA SILVA GODINHO SANTIAGO

**IMPACTOS DO REGULADOR DE CRESCIMENTO TIBA EM GENÓTIPOS DE
SOJA**

**IMPACTS OF THE PLANT GROWTH REGULATOR TIBA ON SOYBEAN
GENOTYPES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28/07/2025

Dr. Devison Souza Peixoto - Rehagro

Dr. Guilherme Felisberto - Companhia Nitro Química Brasileira

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

**LAVRAS - MG
2025**

A Deus;
e aos meus Avós, Afrânio Godinho e Maria José,
que sob muito sol, me fizeram chegar até aqui pela sombra.
Com gratidão, dedico!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela graça, pelas bênçãos, e por todo o sustento em minha vida.

Aos meus avós, Afrânio Godinho e Maria José, e minha mãe Angélica, por sempre me incentivarem e batalharem, desde minha infância, para me dar a oportunidade de prosseguir em minha trajetória acadêmica.

Ao meu pai Maxuel e demais familiares pelo apoio e orações durante esta trajetória.

Ao Departamento de Agricultura e ao PPG Agronomia/Fitotecnia, pela infraestrutura, aulas e apoio do corpo técnico e docente nas disciplinas e no campo.

Ao Prof. Adriano Teodoro Bruzi, pela orientação, pelos anos de amizade, pela dedicação, e por todos os ensinamentos passados, que são fundamentais para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao grupo Pesquisa Soja, e todos os seus membros, pelas oportunidades, pelos treinamentos, pelo desenvolvimento pessoal, pelo companheirismo e acolhimento nos últimos anos.

Aos amigos de pós-graduação, em especial, ao Marcelo, Bruna, Antônio, Júlia Carvalho, Pablo, Mateus Piza, Taine, Carlos, Paula, Alysson, e graduação, Raphael e Júlia Passos, pelo apoio, aprendizado e convivência nestes últimos anos.

A NITRO, especialmente aos Pesquisadores Guilherme Felisberto e Isabelly Marques, pela confiança, aprendizado e apoio para a execução do projeto.

A 1ª IPB de Lavras pelo acolhimento nos últimos anos, em especial ao grupo de jovens (UMP) pelos momentos de comunhão, orações, amizades construídas.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Muito obrigado!

RESUMO

A soja é atualmente o principal produto do agronegócio brasileiro, cultivada na maioria das regiões agrícolas brasileiras, nos mais diversos ambientes de produção. Nesse contexto, o uso de novas tecnologias e insumos durante o ciclo da cultura tem se tornado relevante, dentre os quais pode-se incluir o emprego de reguladores de crescimento. Sabe-se que, na cultura da soja, o balanço de crescimento entre estruturas reprodutivas e vegetativas e a ocorrência de acamamento estão fortemente correlacionados ao potencial produtivo da cultura. No entanto, apesar do domínio no emprego de alguns insumos e estratégias de manejo, a utilização de produtos que visam modular o crescimento das plantas ainda carece de validação científica. Diante do exposto, objetivou-se avaliar a resposta de genótipos de soja de ciclo precoce e semiprecoce ao regulador de crescimento ácido 2,3,5-triidobenzóico (TIBA). Os experimentos foram implantados no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia da UFLA em dois anos agrícolas, conduzidos em delineamento de blocos completos casualizados em esquema de faixas, com os tratamentos constituídos da combinação da aplicação do regulador de crescimento TIBA em genótipos de soja. Foram utilizados 15 genótipos precoces e 18 genótipos semiprecoces. A aplicação do TIBA ocorreu no estágio fenológico V5. Foram avaliados os caracteres: produtividade de grãos, acamamento, altura de planta, altura de inserção de primeira vagem, ramificação, número de grãos, número de vagens, e índices NDVI_p, SPAD, NDVI e NDRE (por meio de ARP). As análises estatísticas foram integralizadas no ambiente R, a partir dos pacotes metan e lme4, adotando o teste F, ao nível de 5% de probabilidade, com posterior agrupamento das médias ajustadas utilizando o teste Skott-knott (1974). Foi observado efeito significativo do regulador para os genótipos de ciclo precoce, com ganhos em produtividade. Também foi observado a redução significativa no acamamento, altura, e aumento nos dias para maturação para genótipos de ambos os ciclos. De tal maneira conclui-se que o TIBA possui potencial como ferramenta de manejo para regular o crescimento e desenvolvimento da cultura, podendo resultar em ganhos em produtividade.

Palavras-chave: *Glycine max* L. merril; ácido 2,3,5-triidobenzóico; acamamento; produtividade de grãos; ciclo precoce; ciclo semi-precoce;

ABSTRACT

Soybean is currently the main product of Brazilian agribusiness, cultivated across most agricultural regions of the country and under diverse production environments. In this context, the use of new technologies and inputs throughout the crop cycle has become increasingly important, including the use of plant growth regulators. It is known that in soybean, the growth balance between reproductive and vegetative structures and the occurrence of lodging are strongly correlated with the crop's yield potential. However, despite advances in the use of some inputs and management strategies, the application of products aimed at modulating plant growth still lacks scientific validation. Therefore, this study aimed to evaluate the response of early and semi-early soybean genotypes to the growth regulator 2,3,5-triiodobenzoic acid (TIBA). The experiments were carried out at the UFPA's Center for Development and Technology Transfer over two growing seasons, using a randomized complete block design in a strip-plot scheme. Treatments consisted of the combination of TIBA application across different soybean genotypes. A total of 15 early-cycle and 18 semi-early-cycle genotypes were used. TIBA was applied at the V5 phenological stage. The following traits were evaluated: grain yield, lodging, plant height, first pod insertion height, branching, number of grains, number of pods, and indices NDVI_p, SPAD, NDVI, and NDRE (measured via UAV). Statistical analyses were conducted in R using the *metan* and *lme4* packages, employing the F-test at a 5% significance level, followed by adjusted means grouping using the Scott-Knott test (1974). A significant effect of TIBA was observed for early-cycle genotypes, with yield gains. There was also a significant reduction in lodging and plant height, as well as an increase in days to maturity for genotypes of both cycles. Thus, it is concluded that TIBA has potential as a management tool to regulate soybean growth and development, potentially leading to yield improvements.

Keywords: *Glycine max* L. Merrill; plant growth regulator; triiodobenzoic acid; lodging score, early maturity and semi-late maturity

INDICADORES DE IMPACTO

A cultura da soja destaca-se pela sua importância no agronegócio brasileiro, sendo o país atualmente o maior produtor e exportador mundial dessa leguminosa (Trademap, 2025). Sua cadeia produtiva é responsável pela geração de milhares de empregos diretos e indiretos nas mais diversas regiões agrícolas do país, ampliando a oferta de oportunidades de trabalho em áreas carentes de desenvolvimento econômico e promovendo a geração de renda e o desenvolvimento socioeconômico. Além disso, a soja contribui significativamente para a arrecadação tributária de estados e municípios, consolidando-se como uma cultura estratégica para o desenvolvimento nacional. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias que promovam ganhos de produtividade por unidade de área é essencial para aumentar a competitividade do setor, mantendo, ao mesmo tempo, o cumprimento das metas de preservação ambiental. Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o impacto do regulador de crescimento TIBA em genótipos de soja de ciclo precoce e semiprecoce, buscando modular o desenvolvimento da cultura de forma a favorecer a formação de estruturas reprodutivas e reduzir o acamamento. Os resultados obtidos foram promissores, evidenciando ganhos em produtividade nos genótipos de ciclo precoce e redução das notas de acamamento em ambos os ciclos, indicando o potencial do TIBA como ferramenta de manejo para a modulação do crescimento da soja em diferentes ambientes de cultivo no país.

IMPACT INDICATORS

The soybean crop stands out for its importance in Brazilian agribusiness, with the country currently being the world's largest producer and exporter of this legume (Trademap, 2025). Its production chain is responsible for generating thousands of direct and indirect jobs across various agricultural regions of the country, expanding employment opportunities in areas with limited economic development and promoting income generation and socioeconomic growth. In addition, soybean cultivation significantly contributes to the tax revenues of states and municipalities, consolidating it as a strategic crop for national development. In this context, the development of technologies that enhance yield per unit area is essential to increase the sector's competitiveness while maintaining compliance with environmental preservation goals. Given this scenario, the present study aimed to evaluate the impact of the plant growth regulator TIBA on early and semi-early-maturing soybean genotypes, seeking to modulate plant development in order to favor the formation of reproductive structures and reduce lodging. The results were promising, showing yield gains in early-maturing genotypes and reduced lodging scores in both maturity groups, indicating the potential of TIBA as a management tool to modulate soybean growth across different production environments in Brazil.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	A cultura da soja.....	14
2.2	Emprego de reguladores de crescimento.....	15
2.2.1	Auxinas	17
2.2.2	Reguladores de crescimento na cultura da soja.....	19
2.3	Interação genótipo por ambientes em atributos morfológicos na cultura da soja.....	21
2.4	Fenotipagem de alto rendimento.....	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	Local	23
3.2	Tratamentos genéticos e condução dos experimentos.....	25
3.3	Caracteres avaliados	27
3.4	Análise Estatística dos dados fenotípicos	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5	CONCLUSÕES	44
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr) consiste na principal cultura do agronegócio brasileiro. Atualmente, o país é o maior produtor e exportador global dessa *commodity*. O cultivo da leguminosa se estende de forma altamente tecnificada pela maior parte das áreas agrícolas do país, nos mais diversos ambientes de produção (Basso; Neves; Grossi-de-Sa, 2023).

Tal extensão de cultivo deve-se principalmente ao avanço de programas de melhoramento genético, no lançamento de genótipos adaptados aos diversos ambientes de produção do país, associado ao avanço em pesquisas de manejo de produção, essenciais para o sucesso de cultivo nos diferentes ambientes edafoclimáticos do país (Gupta *et al.*, 2021). Por consequência, os cultivos de grãos ao longo dos anos tornaram-se altamente tecnificados, com grande busca por insumos que possam corroborar ao longo do ciclo da cultura na produtividade. Entre eles, a utilização de produtos para fins de regulação do crescimento de plantas.

Reguladores de crescimento consistem em produtos com ação hormonal; neste âmbito utilizados na agricultura com objetivo de alterar o comportamento morfológico das plantas. Dentre os principais objetivos de aplicação, elucida-se a contribuição sobre características associadas de forma direta ou indireta a atributos relacionados a ganhos em performance produtiva, como a redução de acamamento, fixação de estruturas reprodutivas, balanço fonte-dreno e melhorias na arquitetura foliar. Contudo, para a cultura da soja, são raros os estudos com o intuito de avaliar o real efeito de tais insumos, sobretudo em experimentos de campo, tornando a sua utilização fortemente associada ao conhecimento empírico de profissionais da cadeia produtiva.

Dentre os reguladores com potencial para utilização neste cenário, cita-se o ácido 2,3,5 triiodobenzoico (TIBA). Estudos realizados nas décadas de 60 e 70 do século passado com este regulador na cultura da soja, resultaram em ganhos em rendimento de grãos, redução em notas de acamamento, além da modulação do crescimento da cultura, com redução do crescimento e incremento na ramificação lateral e estruturas reprodutivas (Greer; Anderson, 1965; Hume; Tanner; Criswell, 1972).

No entanto, tais trabalhos foram realizados com genótipos antigos, advindos inclusive de parentais utilizados para fins de forragicultura (Tanner; Ahmed, 1974) e cultivados em sistemas de produção distintos dos atuais. Deve-se enfatizar também que, embora experimentos

tenham apresentado ganhos produtivos em alguns cenários edafoclimáticos (Hume; Tanner; Criswell, 1972), não há dados quanto a eficácia do uso do regulador em germoplasma tropical moderno na cultura da soja, em múltiplos ambientes.

Neste contexto, objetivou-se avaliar a resposta de genótipos de soja de ciclo precoce e semiprecoce ao regulador de crescimento TIBA, bem como sua influência nos caracteres agronômicos e morfofisiológicos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) pertence à família das *Fabaceae*, caracterizada pela ampla importância econômica. É majoritariamente utilizada como fonte de proteína, óleo e subprodutos para alimentação humana, animal e para uso industrial, como matéria-prima para a produção de biodiesel (Hartman; West; Herman, 2011), além de seu uso como planta medicinal (Nakai; Fujita; Kamei, 2020).

O processo de domesticação ocorreu a partir do ancestral *Glycine soja*, aproximadamente 1100 anos A.C. (Hymowitz, 2008), na região da Manchúria, região norte da China durante a dinastia Zhou, estendendo-se possivelmente até a região das Coreias e Japão (Kim *et al.*, 2011). Com o avanço do comércio entre ocidente e oriente no século XVII, sementes da planta foram levadas ao continente europeu por navegadores e cultivadas, inicialmente, com propósito de ornamentação (Hymowitz, 2008).

O primeiro relato de cultivo em território brasileiro foi no ano de 1882, por Gustavo Dutra, nas dependências da Escola de Agricultura da Bahia, no Recôncavo Baiano. Todavia, sem sucesso, devido à baixa adaptabilidade do material às condições edafoclimáticas locais, principalmente à baixa latitude, resultando em florescimento precoce e baixo desenvolvimento vegetativo (Sediyama; Silva; Borém, 2015). Somente na década de 1940, com a introdução de germoplasma no Rio Grande Do Sul, houve êxito no cultivo da cultura, em função, principalmente das altas latitudes e ambiente edafoclimático favorável a produção (Dall'Agnol, 2016).

Posteriormente, a partir de avanços na obtenção de cultivares insensíveis ao fotoperíodo nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (Gupta *et al.*, 2021) e pesquisas atreladas a outros aspectos de manejo de produção em clima tropical, como manejo da fertilidade química, física e biológica do solo, possibilitaram a expansão da cultura em regiões de menor latitude (Cattelan; Dall'Agnol, 2018).

A partir da década de 70, em função do aumento constante da demanda pela cultura, associado a expressiva oferta de preços, houve aumento da relevância da cultura no agronegócio brasileiro, com crescimento gradual da área de cultivo e produtividade média, resultando,

atualmente, na consolidação do Brasil entre os maiores produtores globais da cultura (Borém, 1999).

A produção estimada de soja, no Brasil, na safra 2024/2025 foi de 168,31 milhões de toneladas. Aproximadamente 98,8 milhões de toneladas foram exportadas no ano de 2024, posicionando o país como maior exportador global da *commodity*, com exportações destinadas majoritariamente ao mercado chinês, maior importador do produto no mercado internacional (CONAB, 2025).

A produção brasileira do grão alimenta o complexo agroindustrial da soja, que possui grande relevância ao país, estando ligado diretamente a diversos setores da economia, como logística, armazenamento, instrumentação agrícola, comércio de grãos, insumos, pesquisa e bioenergia. O complexo emprega no país aproximadamente 2,32 milhões de pessoas, representando aproximadamente 2,35 % da população do país, sendo essencial na geração de empregos nas zonas menos industrializadas do país. Toda a cadeia produtiva movimentou aproximadamente 635 bilhões de reais, destacando o comércio de insumos como defensivos, sementes, fertilizantes e outros produtos, como bioestimulantes e reguladores de crescimento responsáveis por cerca de 30,2 bilhões de reais (CEPEA, 2024).

Tais resultados, são produto de anos de conhecimento acumulado, e aplicado por pesquisadores, produtores e extensionistas no sistema de produção, associados a chegada de novas tecnologias como insumos, que agregam resiliência às plantas quando bem posicionados (CESB, 2016).

2.2 Emprego de reguladores de crescimento

Reguladores de crescimento são substâncias químicas, de natureza orgânica, de origem natural ou sintética, de natureza exógena. Esses atuam em processos de sinalização química no crescimento e desenvolvimento vegetal, sem ação nutricional e efeito fitotóxico (Rademacher, 2015). O conceito de regulador de crescimento vegetal foi inicialmente associado aos hormônios vegetais. No entanto, com o desenvolvimento de substâncias sintéticas pela indústria agroquímica, o termo passou a ser usado predominantemente para produtos de origem exógena (Davies, 2013).

Geralmente, são utilizados em contextos específicos, com objetivo de regular o crescimento de culturas agrícolas e hortaliças, no processo de produção de plantas ornamentais e para fins de propagação vegetativa de espécies agrícolas e florestais (Agudelo-Morales *et al.*,

2021). Para fins agrícolas, são usualmente utilizados a fim de retardar ou inibir o crescimento vegetal (Wang *et al.*, 2022; Zhao; Oosterhuis, 2000) e atuar no processo de florescimento, visando aumentar a fixação de flores e vagens. O incremento no rendimento também podem ocorrer em função da otimização do balanço fonte-dreno, favorecendo os componentes de produtividade (Jaidka *et al.*, 2020).

No geral, programas de melhoramento selecionam genótipos visando a redução de problemas como acamamento, redução de abortamento floral e outras características associadas a maiores produtividades. Contudo, o uso de reguladores de crescimento figura-se uma ferramenta mais efetiva para uso imediato, podendo atuar em sinergia a longo prazo com novos genótipos disponibilizados, possibilitando o ajuste fino da adaptação ao ambiente, resultando em melhorias no manejo e ganhos em produtividade (Rademacher, 2015).

Cabe ressaltar que além da ação fisiológica em processos de regulação de crescimento e desenvolvimento vegetal, algumas moléculas reguladoras de crescimento também atuam em outros processos, como metabolismo antioxidante e fotossintético (Song *et al.*, 2023), agregando em efeitos como resistência a estresses abióticos (Chen *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2022). Song *et al.*, 2023 observaram, para a cultura da soja, que além do incremento em ramos laterais, à aplicação do regulador de crescimento cloreto de mepiquate, aumentou teores das enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), essenciais para o metabolismo antioxidante vegetal. Ayvaci *et al.* (2023), relataram o aumento nos teores de peroxidase (POX), SOD e clorofila em plantas de soja sob estresse, quando submetidas a tratamento com regulador de crescimento paclobutrazol.

Moléculas desenvolvidas inicialmente para fins de proteção de plantas, como herbicidas, especialmente do grupo químico das auxinas sintéticas (Suman *et al.*, 2017) e fungicidas, de grupos químicos como triazóis (Desta; Amare, 2021; Saleem *et al.*, 2024), podem ser empregadas como reguladoras de crescimento na agricultura e em processos de propagação vegetativa (Song; Cheng, 2014). Dentre elas, o 2,4D, herbicida do grupo dos mimetizadores de auxinas, é amplamente utilizado como indutor do crescimento de calos e multiplicação celular, em cultura de tecidos vegetais (Phillips; Garda, 2019). Dentre os triazois, o paclobutrazol é utilizado em cultivos como retardador de crescimento vegetal, especialmente na fruticultura tropical (Nafees *et al.*, 2010), e na cultura do feijão (De Almeida; De Melo; Portes, 2016).

Os reguladores de crescimento vegetal podem ser divididos em função de seu mecanismo de ação nas rotas metabólicas vegetais específicas como auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico (ABA), etileno, jasmonatos e brassinoesteroides.

2.2.1 Auxinas

As auxinas consistem no primeiro grupo de fitohormônios vegetais a ser investigado. Evidências de sua existência e possíveis funções no desenvolvimento vegetal foram relatadas na segunda metade do século XVIII (Darwin; Darwin, 1883), a partir de estudos em relação ao fototropismo em plantas. No entanto, somente após aproximadamente 43 anos, o biólogo Frits Went constatou a presença da substância, a qual denominou com o nome auxina, derivado do grego *auxen*, cujo significado é crescer, aumentar (Enders; Strader, 2015).

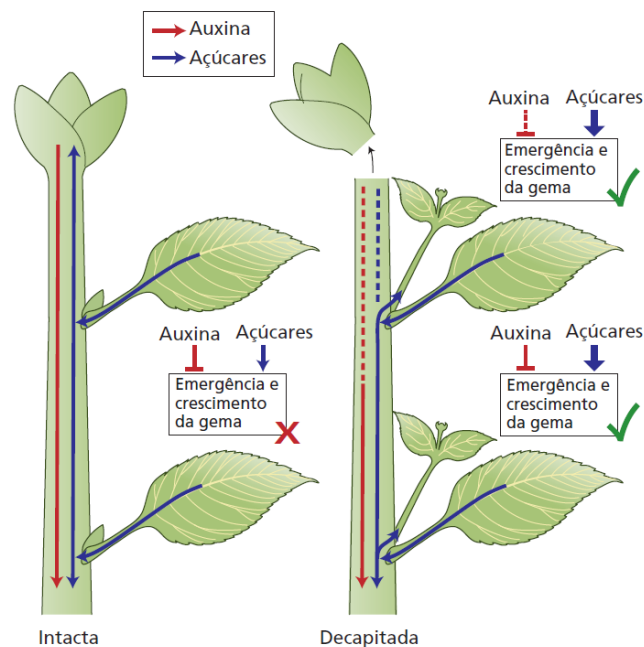
As auxinas são produzidas majoritariamente nos ápices de crescimento, translocadas para o restante da planta e gerando um gradiente de concentração dos ápices para outros órgãos. Esse gradiente resulta na sinalização para o alongamento celular, inibição do crescimento e desenvolvimento de gemas laterais, sendo responsável pelo efeito de dominância apical. Todavia, em altas concentrações pode ocorrer efeito antagônico ao alongamento celular (Petrášek *et al.*, 2003; Rademacher; Brahm, 2010). Dentre as auxinas endógenas catalogadas, o ácido indolacético (AIA) é a principal auxina encontrada nos tecidos vegetais e mais abundante na natureza (Taiz *et al.*, 2017). O AIA também é sintetizado e está presente em praticamente todos os outros tecidos vegetais. Todavia em concentrações baixas geralmente relacionado a outras regulações metabólicas, ou conjugado em outras substâncias como ésteres, polissacarídeos e glicoproteínas, estas, fortemente associadas ao processo de regulação da homeostase (Ludwig-Müller, 2011).

O processo de síntese de AIA acontece a partir do isômero L-Triptofano (Müller; Hillebrand; Weiler, 1998). São descritas na literatura diversas rotas geralmente denominadas em função do componente intermediário entre o triptofano e o produto, como as rotas, IAOx, IPA e IAN. A rota predominante de síntese de AIA varia entre espécie vegetal e estágio de desenvolvimento da planta, podendo sofrer alterações em consequência da interação com o ambiente (Yamaguchi *et al.*, 2010). Com o avanço das técnicas de pesquisa, a partir da utilização de tecidos vegetais auxotróficos para o triptofano, foram encontradas sólidas evidências de rotas metabólicas independentes para produção de AIA, com origem a partir do

indol, Indol-3-glicerol fosfato e outros componentes. No entanto, necessita-se ainda de maior gama de estudos (Kasahara, 2016).

O transporte de auxina dos ápices para outros tecidos vegetais, a curtas distâncias, ocorre a partir do mecanismo denominado transporte polar de auxinas. Esse mecanismo é essencial para que o processo ocorra de maneira regulada e ordenada pela planta (Pan; Chen; Yang, 2015). Os grupos de proteínas transportadoras, denominadas proteínas AUX1, LAX são responsáveis por importar do meio externo para o citosol o AIA, enquanto as proteínas PIN são responsáveis pelo efluxo de AIA para o meio extracelular (Blakeslee; Peer; Murphy, 2005). A expressão e deposição das proteínas ocorre de maneira altamente regulada e concentrada nos polos da célula, possibilitando o transporte ativo direcionado de AIA nos tecidos vegetais (Adamowski; Friml, 2015). A longas distâncias, o transporte de auxinas geradas em tecidos jovens, como folhas e ápices de crescimento ocorre com nível menor de regulação, via floema (Petrášek; Friml, 2009). As auxinas, produzidas nos ápices e transportadas ao longo do caule, constituem no principal hormônio vegetal responsável pelo controle do desenvolvimento de gemas laterais em ramificações, fenômeno este denominado dominância apical (Taiz *et al.*, 2017), como demonstrado na figura 1.

Figura 1 – Modelo de crescimento e desenvolvimento de gemas laterais em cenário, com dominância apical (Intacta), e em planta com quebra da dominância apical (decapitada).



Fonte: Taiz et al., 2017.

Posteriormente a descoberta do AIA, outras substâncias do mesmo grupo, como ácido indolbutírico (IBA), ácido indolpropiónico (IPA) e 2-Ácido fenilacético (PAA), também foram descobertas. Embora ainda carece de estudos em relação a suas ações nos mecanismos moleculares de regulação do crescimento e desenvolvimento vegetal (Simon; Petrášek, 2011).

Devido ao fato de ser a primeira substância do grupo das auxinas a ser descoberta, e sua relativamente simples estrutura molecular, a indústria química em busca de produtos para utilização na agricultura, utilizou-se da molécula como modelo (AIA) para o desenvolvimento de auxinas sintéticas, posteriormente utilizadas como reguladores de crescimento e herbicidas na agricultura (Taiz *et al.*, 2017). Dentre as primeiras moléculas, temos o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), o ácido 1-naftaleno-acético (NAA) e o ácido 2-metóxi-3,6-diclorobenzoico (Dicamba) (Katel *et al.*, 2022; Song; Cheng, 2014).

Ademais, com o acúmulo de estudos relacionados metabolismo das auxinas, novas substâncias, com ação bloqueadora do transporte de auxinas foram identificadas, dentre elas, o ácido 2,3,5-triodobenzoico (TIBA) (Teale; Palme, 2018). O mecanismo de ação da molécula, como relatado por Klíma; Laňková; Zažímalová, 2015, ainda não foi completamente elucidado. No entanto, alguns trabalhos já detalharam em partes, o mecanismo de ação do regulador. Geldner *et al.*, (2001) relatou o efeito do regulador de crescimento TIBA, no ciclo intracelular das proteínas PIN, bloqueando o transporte das proteínas do endossomo para a parede celular. Posteriormente Kleine-Vehn *et al.*, (2006), demonstrou que também ocorre a inibição do transporte de proteínas AUX, para os polos da membrana plasmática, levando a interferência no processo de transporte de auxinas.

2.2.2 Reguladores de crescimento na cultura da soja

Diversos estudos relatam efeitos significativos do uso de reguladores de crescimento na cultura da soja, em todos os estádios de desenvolvimento da cultura (Amoanimaa-Dede *et al.*, 2022). O uso de reguladores de crescimento, como AIA e giberelina A3 (GA3), em estádios iniciais de desenvolvimento da cultura como germinação, pode retornar em ganhos no desenvolvimento de raízes, além de posterior aumento no número de nódulos da cultura (Choudhury; Johns; Pandey, 2019). Estudos evidenciam que a inoculação de sementes com reguladores de crescimento GA3 e Cloreto de mepiquate resultam em maiores teores de nitrogênio, aminoácidos, e ganho em eficiência do metabolismo do nitrogênio com aumento da atividade da enzima nitrato redutase (Chen *et al.*, 2023).

Em pós-emergência, reguladores de crescimento podem ser utilizados com objetivo de estimular o desenvolvimento vegetativo, geralmente a partir da utilização de hormônios em balanço favorável ao desenvolvimento vegetal. Neste contexto, atualmente no mercado o produto stimulate®, constituído de cinetina, ácido giberélico e ácido 4-indol-3-ilbutírico, é amplamente utilizado em cultivos, como demonstrado por Albrecht *et al.*, (2012), pode resultar em ganhos de produtividade e teor de proteína em grãos.

Moléculas como o cloreto de mepiquate e cloreto de cloromequat atuam como retardadoras de crescimento a partir do bloqueio da síntese de hormônios sinalizadores para o crescimento e desenvolvimento vegetal como as giberelinas (Rademacher, 2000). Ademais, estimulam o incremento nos teores de enzimas do sistema antioxidante vegetal, resultando em possíveis ganhos de produtividade e tolerância a estresses hídricos na cultura da soja, em ambiente controlado (Dong *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023, 2022).

Reguladores de crescimento como o lactofen podem ser utilizados com o objetivo de melhorar atributos morfológicos da cultura, a fim de potencializar a formação de componentes de produção. Geralmente, utiliza-se de estratégias que induzam o desenvolvimento de plantas com arquitetura favorável a produtividade, com maior ramificação e eficiência na interceptação de luz para fotossíntese, especialmente no terço inferior do dossel vegetativo, a partir da poda química (da Rosa; Caverzan; Chavarria, 2020; Martins *et al.*, 2020). No entanto, tal uso ainda carece de maior elucidação científica, devido a inconsistência de resultados observados quanto a produtividade, dificultando o posicionamento de aplicações (Mangialardi *et al.*, 2016; Orłowski; Gregg; Lee, 2016).

A pesquisa com moléculas que atuam no bloqueio de transporte de auxinas como o TIBA, carece de estudos relacionados a eventuais ganhos de produtividade e impactos em caracteres morfoagronômicos, essencialmente em cultivares modernos. Grande parte dos trabalhos foram realizados nas décadas de 1960 e 1970 nos Estados Unidos, (Bauer; Sherbeck; Ohlrogge, 1969; Wax; Pendleton, 1968). No entanto, apresentados resultados consideráveis em caracteres, como ganhos em produtividade associados a redução da altura de plantas (Clapp, 1973). Após a condução de experimentos durante sete anos agrícolas seguidos, com aplicação do regulador de crescimento no início do florescimento, Hume; Tanner; Criswell, (1972) observaram retornos significativos em produtividade em todos os anos em que a média de precipitação no estágio vegetativo foi superior a série histórica. No entanto, em anos com

precipitação abaixo da média durante o estágio vegetativo, a aplicação resultou em redução significativa em produtividade.

Estudos utilizando genótipos advindos de germoplasma de origem brasileira, são limitados, tanto em número de publicações quanto em genótipos e ambientes avaliados (Buzzello *et al.*, 2013; Cato; Castro, 2006).

2.3 Interação genótipo por ambientes em atributos morfológicos na cultura da soja

Entende-se por genótipo toda a constituição genética de determinado indivíduo. O componente ambiente é definido a partir de todos os fatores que afetam o desenvolvimento das plantas que não são de origem genética, com o fenótipo (F) sendo resultado da ação do genótipo (G) e ambiente (A), ou seja, $F = G + A$ (Ramalho *et al.*, 2012).

Compreende-se por interação genótipo por ambientes, a capacidade dos genótipos apresentarem diferente comportamento em função do ambiente em que estão inseridos e avaliados, sendo compreendidos por ambientes, diferentes locais, anos, épocas de cultivo e a combinação destes fatores (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021).

Quando a variação ocorre a partir de fatores ambientais sistemáticos ou quando estão dentro do planejamento experimental, como espaçamento, épocas de semeadura, doses de adubação, pedologia do local, a variação é denominada previsível. Todavia, fatores inconsistentes ao longo do tempo como balanço pluviométrico, doenças, pragas entre outros são classificados como imprevisíveis (Allard; Bradshaw, 1964). Tal fenômeno desafia na escolha e posicionamento de cultivares e produtos nas mais diversas regiões de cultivo, devido as diferenças de respostas de cada genótipo frente as diferentes condições ambientais (Ramalho *et al.*, 2012; Rani *et al.*, 2023).

Dentre os caracteres morfológicos, a altura de planta, componente que em excesso é associada ao acamamento e perdas de produtividade (Yan *et al.*, 2024), é controlada por aproximadamente 19 loci e 51 QTLs. Essa característica é influenciada fortemente por fatores abióticos relativos ao clima como temperatura, umidade, precipitação, fotoperíodo, e ao solo, como disponibilidade hídrica e de nutrientes como nitrogênio (Yang *et al.*, 2021). A ramificação, que também está correlacionada a maiores produtividades, pode variar em função de caracteres edafoclimáticos e de manejo, como espaçamento de plantio (Xu *et al.*, 2021).

2.4 Fenotipagem de alto rendimento

Entende-se por fenotipagem de alto rendimento, o uso de sensores e automação associados a outras ferramentas, com objetivo de acelerar o processo de fenotipagem de plantas (Singh *et al.*, 2021). Ao longo dos anos, diversos avanços foram incorporados ao processo de avaliação de experimentos. Tais inovações foram introduzidas na experimentação agrícola devido ao desenvolvimento e possibilidade de acesso a tecnologias emergentes, como melhorias na capacidade de processamento, armazenamento de dados, inteligência artificial, e avanços e disponibilidade do uso de diversos tipos de sensores, em grande parte, embarcado em aeronaves remotamente pilotadas (ARP). Esses avanços são essenciais para o progresso da pesquisa com plantas, pois agregam com eficiência e possibilitam ganhos em rendimento e acurácia na coleta de dados experimentais, além de possibilitar a avaliação de novas características em larga escala (Zhao *et al.*, 2019).

Dentre as características que ganharam relevância para a fenotipagem de plantas, temos o estudo da reflectância das plantas. A partir da utilização de sensores RGB (Red, Green e Blue), multiespectrais, hiperespectrais e termais, associados a utilização de índices de vegetação, diversas características associadas a reflectância vegetal passaram a ser mensuradas, podendo ser utilizadas na avaliação de ensaios, como de melhoramento de plantas (Gano *et al.*, 2024), de nutrição vegetal e reguladores de crescimento, com utilização de índices de vegetação, que podem ser correlacionados a características como, teor de clorofila, índice de área foliar, eficiência fotossintética e taxa de transpiração (Gano *et al.*, 2024; Karpiński; Kocira, 2025; Mikhailova *et al.*, 2020).

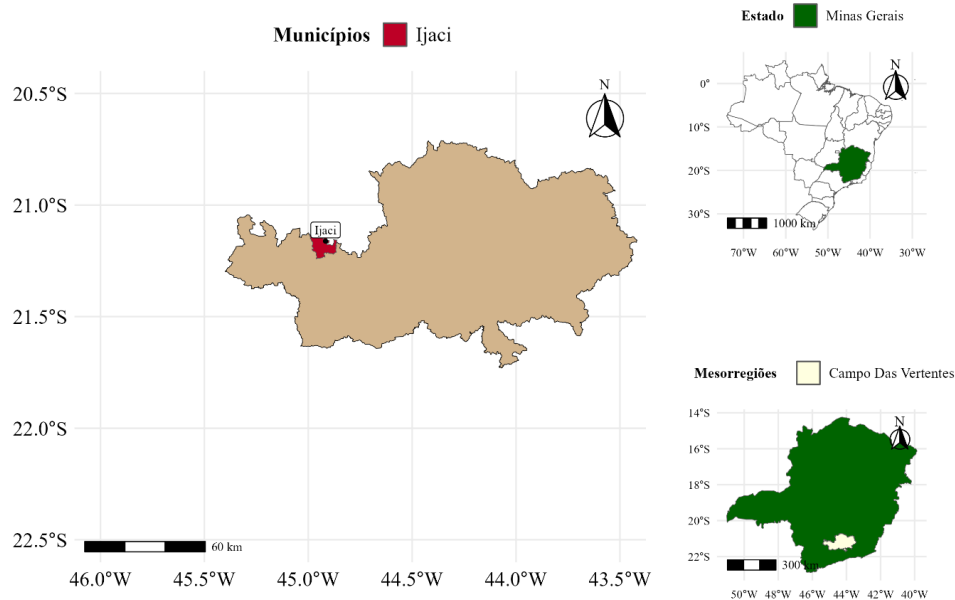
A utilização de ferramentas de inteligência artificial como machine learning, associadas a coleta de dados obtidos por ARP, podem ser utilizadas para automatização de avaliações utilizando escalas, reduzindo possíveis problemas com enviesamento e precisão, como avaliação de severidade de doenças (Santana *et al.*, 2024), acamamento de plantas (Sarkar *et al.*, 2023) e nível de desfolha (Ferraz *et al.*, 2024).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

Os experimentos foram conduzidos em condições de campo durante a safra 2023/24 e 2024/25, no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia - CDTT, do Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras, localizado no município de Ijaci, Minas Gerais (Figura 2).

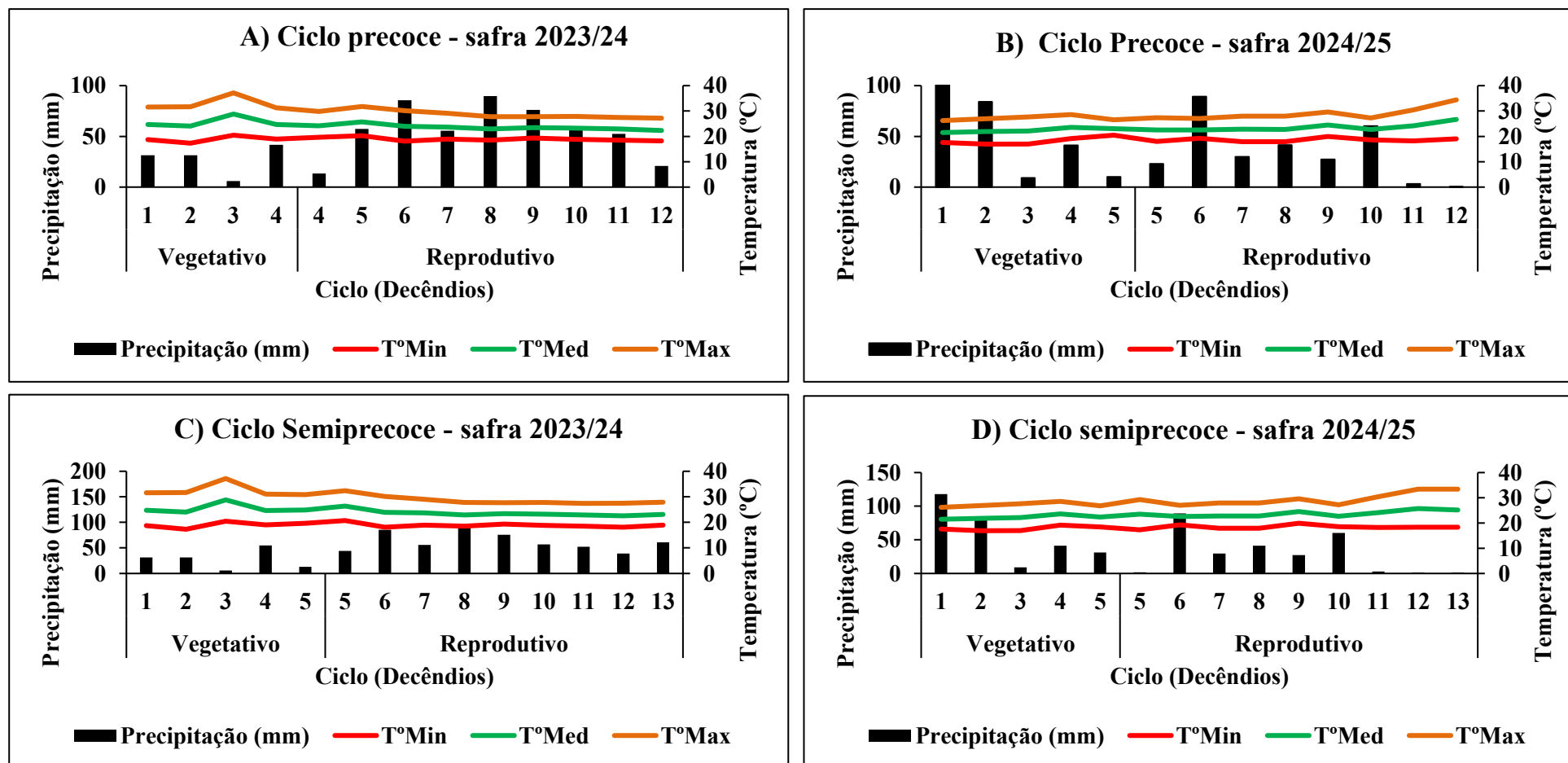
Figura 2 - Localização geográfica do experimento.



Fonte: Do autor (2025).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é definido como *Cwa*, temperado chuvoso (Dantas; Carvalho; Ferreira, 2007). Os dados climatológicos para ambos os ambientes foram coletados com auxílio do pacote EnvRtype (Costa-Neto *et al.*, 2021). Durante a safra 2023/2024 a pluviosidade total corrigida durante o ciclo da cultura foi de 626 mm (mililitros), enquanto na safra 2024/2025, a pluviosidade total durante o ciclo foi de aproximadamente 535 mm, diferença de aproximadamente 91 mm. A caracterização climática dos ambientes está descrita na figura 3.

Figura 3 - Balanço climatológico para os anos agrícolas 2023/24 e 2024/25.



Fonte: Nasa Power (2025).

3.2 Tratamentos genéticos e condução dos experimentos

Os experimentos foram divididos em dois grupos, constituídos de linhagens e cultivares de soja, caracterizadas pelo ciclo precoce e semiprecoce, em cada safra (Tabela 1). O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados completos em esquema de faixas, com três repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação dos fatores, aplicação do regulador de crescimento e genótipos.

Para o experimento de ciclo de precoce, foram utilizados como tratamentos genéticos 10 linhagens do VCU (valor de cultivo e uso) do programa de melhoramento genético da UFLA e três cultivares comerciais registradas como testemunhas em ambas as safras. No segundo grupo, de ciclo semiprecoce, foram utilizados cinco cultivares comerciais como testemunhas e 10 linhagens (Tabela 1).

Tabela 1 - Grupo de tratamentos genéticos de ciclo precoce e semiprecoce avaliados nas safras 2023/24 e 2024/25.

Ciclo Precoce		Ciclo Semi-precoce	
Tratamentos	GMR	Tratamentos	GMR
VCUPREC-1	6,9	SEMI-4	7,4
VCUPREC-2	6,2	VCUSEMI-8	7,7
VCUPREC-7	7,1	VCUSEMI-10	7,5
2023SLP-6	5,8	VCUSEMI-12	7,6
2023SLP-8	5,8	SRP169	7,6
2023SLP-16	5,8	SRP181	7,7
2023SLP-24	5,8	SRP-153	7,4
2023SLP-2	5,8	SRP-154	7,5
2023SLP-5	5,8	SRP-25	7,5
VCUSEMI-1	7,1	SRP-26	7,4
ZEUS ¹	5,5	OLIMPO	7,8
UFLA6301 ¹	6,3	VORAZ	7,5
NEO680 ¹	6,8	NEO720	7,2
-	-	NEO740	7,4
-	-	DESAFIO	7,4

¹ Cultivares adotadas como testemunhas no grupo precoce; ² Cultivares adotadas como testemunhas no grupo semiprecoce; GMR: Grupo de maturação relativa.

Fonte: Do autor (2025).

Previamente a escolha das áreas experimentais, procedeu-se com a análise química do solo da área para as camadas 0-20 cm e 20-40 cm. A textura do solo de cultivo foi classificada

como argilosa em ambos os ambientes (Tabela 2). As recomendações de adubação adotadas, foram realizadas em ambas as safras tendo por base o boletim tecnologias para produção de soja (Seixas *et al.*, 2020).

A semeadura mecanizada dos experimentos foi realizada na segunda quinzena de outubro, para ambas as safras, com parcelas constituídas de quatro linhas de 4 m, espaçadas entre si por 0,5 m. Em ambos os ambientes na semeadura adotou-se população alvo de 300.000 mil plantas por hectare no experimento precoce e 220.000 no experimento semiprecoce. Logo após a semeadura, foi realizada a inoculação no sulco a base de *Bradyrhizobium japonicum*, na dose de 300 mL/ha em associação com fertilizante a base cobalto (Co) e Molibdênio (Mo).

O manejo fitossanitário da cultura foi realizado utilizando inseticidas e fungicidas registrados para a cultura, principalmente dos grupos dos Neonicotinoides, Piretroides, Organofosforados, Carbamatos e Benzoilureias. Entre os fungicidas, triazois, estrubirulinas, carboxamidas e produtos de cobertura como mancozebe e clorotalonil.

Tabela 2 - Análise química e física de solo, das camadas 0-20 e 20-40 cm, dos experimentos, nas safras 2023/2024 e 2024/2025.

Safr 2023/2024											
	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T
	----- mg/dm³-----				----- cmol/ dm³-----						
0-20	5,5	97,9	15,6	4	1,74	0,69	0,10	4,1	2,68	2,78	6,78
20-40	5,7	47,58	3,63	7,0	1,17	0,48	0,10	3,9	1,77	1,87	5,67
	V	m	MO	P-rem	Areia		Silte		Argila		
	----- % -----		dag/Kg	mg/L	----- % -----						
0-20	39,54	3,6	2,83	18,6	39		7		54		
20-40	31,25	5,35	1,79	12,5	38		6		56		
Safr 2024/2025											
	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T
	----- mg/dm³-----				----- cmol/ dm³-----						
0-20	6,5	144,77	20,02	4,0	4,01	1,16	0,10	2,50	5,54	5,64	8,04
20-40	6,7	64,39	3,34	4,00	2,84	1,10	0,10	2,50	4,11	4,21	6,61
	V	m	MO	P-rem	Areia		Silte		Argila		
	----- % -----		dag/Kg	mg/L	----- % -----						
0-20	68,92	1,77	2,58	22,0	44		5		51		
20-40	62,10	2,38	1,89	16,4	41		7		52		

P- Na - K- Fe - Extrador Mehlich 1, pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5; Ca - Mg- Al- Extrator: KCl - 1 mol/L; H + Al- Extrator: SMP; Matéria Orgânica (MO); Oxidação: Na₂Cr₂O₇4N+H₂SO₄10N.

Fonte: Do autor (2025).

O manejo de plantas daninhas foi realizado a partir da aplicação de herbicidas registrados e seletivos para a cultura, em aplicação pré e pós-emergente. No estágio fenológico V5 foi realizada a pulverização com o regulador de crescimento TIBA, na dose de 0,5 L/ha de produto formulado, com aplicação realizada a partir de drone DJI Agras® T30, utilizando vazão de 25 L/ha. Ao término do ciclo da cultura, procedeu-se a colheita de maneira semimecanizada com auxílio de trilhadora a diesel e roçadeira motorizada.

3.3 Caracteres avaliados

- Avaliação do índice SPAD®, 15 dias após a aplicação do regulador de crescimento, no terço médio das plantas, em três plantas representativas por parcela.
- A partir do uso do equipamento GreenSeeker®, foi mensurado os valores de NDVI proximal por parcela.

Também foram realizadas avaliações de caracteres morfoagronômicos como:

- Altura de plantas, com medição a campo, a partir do colo até o meristema apical em três plantas representativas da área útil de cada parcela em R8.
- Inserção de primeira vagem, em três plantas representativas da área útil de cada parcela em R8.
- Número de Ramos Laterais contados em três plantas representativas por parcela, excluindo-se o ramo principal em R8.
- Avaliação visual do acamamento, realizada utilizando escala apresentada por Bernard et al. (1965) em R7.
- Dias para maturação da cultura, em dias após plantio até o estágio R8.

Foram realizadas as avaliações dos seguintes componentes de produção, a partir da avaliação de três plantas representativas por parcela:

- Número de vagens por planta
- Número de grãos por planta
- Peso de mil grãos (PMG), a partir da coleta de 1000 grãos após a colheita do material.

Produtividade de grãos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$): A partir da colheita de todas as plantas das duas linhas centrais de cada parcela (área útil), da base até o ápice, e posteriormente trilhadas, a

produtividade de grãos foi mensurada a partir do peso de obtido, com posterior correção para kg.ha^{-1} a 13% de umidade.

Durante o ciclo da cultura, foi realizada a avaliação da resposta espectral dos genótipos a partir do uso de índices de vegetação, com coletas a partir de sensor multiespectral embarcado em aeronave remotamente pilotada (ARP). Os voos foram realizados em ambos os ambientes a partir de 27 e 54 dias após o plantio, respectivamente para as safras 2023/2024 e 2024/2025, prosseguindo até ao final do ciclo da cultura em R7.3.

Na safra 2023/2024, os voos foram realizados a partir do uso de ARP embarcando o sensor Micasense, capturando imagens com cada pixel representado 5,83 cm/pixel de superfície. Já na safra 2024/2025, a coleta das imagens foi realizada utilizando o drone DJI Mavic 3, com sensor multiespectral embarcado, com pixels representando aproximadamente 1,8 cm/pixel da área experimental.

Posteriormente as imagens coletadas foram processadas no software Agisoft Metashape®. As coordenadas geográficas das imagens foram corrigidas a partir do uso de 18 pontos de controle, cuja localização foi coletada com o uso de equipamento GPS com correção RTK. Em seguida as imagens foram alinhadas, logo após foi gerada a nuvem densa de pontos, e posteriormente o ortomosaico do experimento, contendo as 4 bandas descritas na tabela 3.

Tabela 3 - Sensores e bandas capturadas durante o experimento.

Bandas	Comprimento de Onda (nm)	
	Mavic 3M	Micasense
Azul	-	475±32 nm
Verde	560 ±16 nm	560±27 nm
Vermelho	650 ± 16 nm	668±14 nm
<i>Red Edge</i> (RE)	730 ± 16 nm	717±12 nm
Infravermelho Próximo (NIR)	860 ± 26 nm	842±57 nm
Resolução	5 Megapixels	1,6 Megapixels

Fonte: Do autor (2025).

Os ortomosaicos foram importados no software livre QGis (Versão 3.16.1, QGIS Development Team, Trondheim, Noruega). Logo em seguida a partir do pacote FieldImageR (Matias; Caraza-Harter; Endelman, 2020), os índices de vegetação descritos na tabela 4 foram calculados. A nível de parcela, foram extraídas as médias para ambos os índices, levando em

consideração a bordadura de 50%, visando evitar o efeito de bordadura, principalmente relacionado as plantas acamadas.

Tabela 4 - Índices de vegetação, estimadores para obtenção e atributos morfofisiológicos associados.

Índice	Fórmula	Atributos Associados
NDVI	$(\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$	IAF, MSV, PR, CC
NDRE	$(\text{NIR} - \text{RedEdge}) / (\text{NIR} + \text{RedEdge})$	IAF, MSV, PR, CC

IAF: Índice de Área Foliar; MSV: Massa Seca Vegetal; PR: Produtividade de Grãos; CC: Cobertura do Dossel.

Fonte: Adaptado de Gano *et al.*, (2024).

Logo após o processamento, a média dos índices foram extraídas a nível de parcela útil. Para análise do efeito do regulador do crescimento no crescimento e desenvolvimento vegetal ao longo de todo o ciclo da cultura, foi adotado o modelo de regressão para cada índice de vegetação, cujo modelo está representado abaixo:

$$f(x) = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_{Nx}^N \quad (1)$$

Em que:

$f(x)$: Valor estimado do índice espectral no tempo x (DAP).

$\beta_0, \beta_1, \beta_{Nx}^N$: Coeficientes de regressão estimados pelo modelo.

N: Grau do polinômio ajustado.

Posteriormente a análise temporal dos índices de vegetação ao longo do ciclo da cultura foi estimada a área abaixo da curva (AUC) dos índices NDVI e NDRE, obtida levando em consideração o modelo regressão, integrado de maneira definida entre o dia após o primeiro voo (x_1) e até o último voo (x_2), utilizando a seguinte equação:

$$AUC = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (2)$$

Em que:

$f(x)$: Função que descreve a resposta do índice de vegetação médio observado.

3.4 Análise Estatística dos dados fenotípicos

Os dados coletados foram submetidos a análise estatística, integralizadas no ambiente R studio (Team Core, 2020), considerando o seguinte modelo:

$$y_{ijkl} = \mu + a_i + b_j + p_k + bp_{jk} + ab_{ij} + abp_{ijk} + y_l + e_{ijkl} \quad (3)$$

Em que:

μ : constante associada à média geral;

a_i : efeito fixo do i -ésimo nível do fator A (ambiente);

b_j : efeito fixo do j -ésimo nível do fator B (regulador de crescimento);

p_k : efeito fixo do k -ésimo genótipo (cultivar);

bp_{jk} : efeito fixo da interação entre o k -ésimo genótipo e o j -ésimo regulador de crescimento

ab_{ij} : efeito fixo da interação entre o j -ésimo regulador de crescimento e o i -ésimo ambiente;

abp_{ijk} : efeito fixo da interação tripla entre ambiente, regulador de crescimento e genótipo;

y_l : efeito aleatório da l -ésima repetição (bloco), assumido como $y_l \sim N(0, \sigma^2)$

e_{ijkl} : erro experimental associado a cada observação, assumido como $e_{ijkl} \sim N(0, \sigma^2)$

Previamente ao ajuste do modelo, foram realizadas análises exploratórias dos dados com objetivo de identificar possíveis *outliers* a partir do pacote Metan (Olivoto; Lúcio, 2020). A normalidade dos dados de todos os caracteres avaliados foi testada a partir do teste de Shapiro-Wilk, nos resíduos dos dados, como recomendado por Kozak; Piepho, (2018). O ajuste foi realizado utilizando o pacote lme4 (Bates *et al.*, 2015). Logo em seguida, os modelos foram submetidos a análise de *deviance*, para os efeitos fixos. O teste F foi adotado ao nível de 5% de probabilidade, e os efeitos quando significativos, foram submetidos ao teste de agrupamento de médias skott-knott (Scott; Knott, 1974) a 5% de probabilidade.

Os dados fenotípicos foram submetidos a análise de correlação de *Spearman*, em ambos os experimentos, com objetivo de se verificar o impacto do regulador nos caracteres. A precisão experimental foi estimada pelo coeficiente de variação experimental (CV%):

$$CV(\%) = \left(\frac{\sigma}{\bar{y}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

σ : Desvio padrão residual estimado pelo modelo.

$\bar{y}$: Média predita das unidades experimentais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resumos para as análises de *deviance* conjunta para os caracteres produtividade, acamamento, dias para maturação, altura, inserção e peso de mil grãos são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Resumo de análise de *deviance* para os caracteres produtividade (PROD), acamamento (ACAM), dias para maturação (DPM), altura (ALT), e inserção (INS) e peso de mil grãos (PMG).

FV	GL	Experimento de ciclo precoce											
		Pr(>F)											
		PROD		ACAM		DPM		ALT		INS		PMS	
SAFRA	1	0,0000	***	0,0000	***	0,3730		0,0000	***	0,0000	***	0,0000	***
REG	1	0,0019	**	0,0000	***	0,0000	***	0,0000	***	0,1996		0,1544	
GEN	12	0,0000	***	0,0000	***	0,0000	***	0,0000	***	0,0000	***	0,0000	***
GEN:REG	12	0,2554		0,6368		0,2849		0,6032		0,5388		0,0022	**
REG:SAFRA	1	0,2909		0,0883	.	0,2825		0,0001	***	0,0276	*	0,0008	***
SAFRA:GEN:REG	24	0,0009	***	0,0355	*	0,3339		0,0000	***	0,0008	***	0,0000	***
CV(%)		11,28	%	32,23	%	1,92	%	7,04	%	17,57	%	3,90	%
FV	GL	Experimento de ciclo semiprecoce											
		Pr(>F)											
		PROD		ACAM		DPM		ALT		INS		PMS	
SAFRA	1	0,0069	**	0,0104	*	0,0000	***	0,0000	***	0,8058		0,0000	***
REG	1	0,2291		0,0000	***	0,0000	***	0,0000	***	0,0023	**	0,0816	.
GEN	14	0,0000	***	0,0000	***	0,0000	***	0,0000	***	0,0000	***	0,0000	***
GEN:REG	14	0,0997		0,7973		0,0352	*	0,3196		0,1866		0,0734	.
REG:SAFRA	1	0,0002	***	0,0289	*	0,0000	***	0,0000	***	0,9822		0,0001	***
SAFRA:GEN:REG	28	0,0980	.	0,0192	*	0,0000	***	0,0812	.	0,7412		0,0023	**
CV(%)		13,02	%	22,5	%	1,54	%	6,07	%	13,18	%	6,88	%

Significância para o teste F: *** para $p < 0,001$; ** para $0,001 \leq p < 0,01$; * para $0,01 \leq p < 0,05$; . para $0,05 \leq p < 0,1$; e ausência de símbolo indica $p \geq 0,1$.

Fonte: Do autor (2025).

Em ambos os experimentos, os caracteres, DPM, ALT e PMG apresentaram elevada precisão experimental (Gomes, 2022), com estimativas de CV variando de 1,54% e 6,88%. Para os caracteres PROD e INS, os valores de CV são considerados médios, com variação entre 11,28% e 17,57%. Para a variável ACAM, foi observado elevado valor do coeficiente de variação (Tabela 5). Todavia, como apresentado por (Santos; Dias, 2021), em dados coletados

de forma ordinal, como notas de acamamento, a interpretação do CV deve ser realizada com cautela. Ademais, coeficientes variação relativamente altos (>20%), podem ser observados em função das características intrínsecas ao caráter estudado. Tal, afirmação também elucida os valores de coeficiente de variação relativamente altos, observados para os caracteres, número de ramos, vagens e de grãos por planta, apresentados na tabela 6. Já os índices SPAD® e NDVIp, apresentaram ótima precisão, com valores entre 3,79% e 9,57%.

Tabela 6. Resumo de análises de deviance para os caracteres índice SPAD (SPAD), NDVIp, número de ramos (NR), número de grãos por planta (NGP) e número de vagens (NV).

FV	GL	Experimento de ciclo precoce									
		Pr(>F)									
		SPAD		NDVIp		NR		NGP		NV	
SAFRA	1	0,5865		0,0000 ***		0,0000 ***		0,7359		0,5696	
REG	1	0,0898 .		0,0087 **		0,0113 *		0,1599		0,2318	
GEN	12	0,0008 ***		0,2788		0,0000 ***		0,0009 ***		0,0000 ***	
GEN:REG	12	0,1102		0,4542		0,1348		0,0048 **		0,0026 **	
REG:SAFRA	1	0,7347		0,1864		0,4507		0,0274 *		0,0146 *	
SAFRA:GEN:REG	24	0,0209 *		0,0154 *		0,0024 **		0,0000 ***		0,0000 ***	
CV(%)		7,57 %		3,79 %		23,84 %		19,77 %		20,32 %	
FV	GL	Experimento de ciclo semiprecoce									
		Pr(>F)									
		SPAD		NDVIp		NR		NGP		NV	
SAFRA	1	0,2536		0,0003 ***		0,0000 ***		0,0000 ***		0,0000 ***	
REG	1	0,0017 **		0,0003 ***		0,0101 *		0,0434 *		0,0085 **	
GEN	14	0,0737 .		0,1738		0,0036 **		0,0000 ***		0,0000 ***	
GEN:REG	14	0,6417		0,7423		0,6830		0,0540 .		0,0155 *	
REG:SAFRA	1	0,0640 .		0,9667		0,8501		0,0001 ***		0,0002 ***	
SAFRA:GEN:REG	28	0,2869		0,1854		0,0028 **		0,3478		0,4126	
CV(%)		9,57 %		6,75 %		26,38 %		22,81 %		21,66 %	

Significância para o teste F: *** para $p < 0,001$; ** para $0,001 \leq p < 0,01$; * para $0,01 \leq p < 0,05$; . para $0,05 \leq p < 0,1$; e ausência de símbolo indica $p \geq 0,1$.

Fonte: Do autor (2025).

A partir da análise conjunta de ambas as safras, é possível observar o efeito significativo do regulador de crescimento quanto aos genótipos de ciclo precoce, para a PROD, não havendo interação significativa entre a aplicação de TIBA, com genótipos avaliados no estudo, assim como os ambientes (Tabela 5). Tal resultado elucida que nas condições do presente estudo, os

efeitos associados ao ambiente e aos genótipos precoces, não afetaram significativamente os efeitos do regulador de crescimento.

No entanto, para o experimento com genótipos de ciclo semiprecoce, o regulador de crescimento não apresentou resultado significativo. Para o ACAM e DPM, o regulador apresentou efeito significativo. Contudo, em genótipos de ciclo semiprecoce, houve também interação significativa entre a aplicação do regulador e ambiente, e para DPM também foi observado a interação entre o regulador e genótipos. Fato este que denota a resposta diferencial dos caracteres em função do ambiente de produção (presença ou ausência do regulador) bem como do genótipo utilizado. A ALT foi impactada significativamente pela aplicação do regulador, não observada interação com genótipos. No entanto foi constatada a interação entre o efeito do regulador de crescimento com os ambientes (Tabelas 5 e 7).

Os caracteres INS e PMG não foram significativamente afetados pela aplicação do regulador de crescimento em genótipos de ciclo precoce, todavia em genótipos de ciclo semiprecoce, foi observado efeito significativo da aplicação sobre a inserção de primeira vagem (Tabela 5 e 6).

As análises dos índices coletados de maneira proximal (NDVI_p e SPAD®), capturaram efeito significativo do regulador de crescimento (Tabela 6). No entanto o efeito não foi observado para ambos os experimentos. Para os genótipos de ciclo precoce, observou-se efeito significativo no NDVI_p. Por seu turno, no experimento com genótipos de ciclo tardio, também foi observado efeito significativo nos valores SPAD®.

Os componentes de rendimento, número de grãos por planta assim como número vagens, em genótipos precoces não foram significativamente afetados pela aplicação do regulador de crescimento. Porém, no experimento com genótipos de ciclo semiprecoce, o regulador exerceu efeito significativo para ambos.

Destaca-se que o número de grãos por planta e número de vagens, obteve resposta diferencial significativa com aplicação do regulador de crescimento em função do ambiente, com o efeito do regulador no número de vagens também sendo impactado pelos genótipos. Em ambos os cenários, com genótipos precoces e semiprecoces, o número de ramos foi significativamente afetado pela aplicação do regulador de crescimento (Tabela 6).

As médias para os caracteres avaliados em ambos os experimentos de ciclo precoce e semiprecoce, estão descritas respectivamente nas tabelas 7 e 8. Dentre os componentes de rendimento avaliados nos experimentos, a aplicação do regulador de crescimento resultou em

aumento médio geral de ramos de aproximadamente 10% quando comparado ao controle, sem aplicação, independente do ciclo do experimento. Tal resultado, reforça a hipótese de que o regulador de crescimento TIBA, reduz efeitos relacionados a dominância apical, deslocando o balanço para as citocininas, hormônio este responsável pela diferenciação das gemas laterais, em estruturas como ramos (Shimizu-Sato; Tanaka; Mori, 2009).

Contudo, os componentes de rendimento número de grãos por planta e número de vagens, apenas foram significativamente impactos pelo regulador, em genótipos de ciclo semiprecoce. Incremento de 6,28% no número de grãos por planta, e 8,29% no número de vagens. Tanner; Ahmed, (1974), obtiveram resultados semelhantes com a aplicação do regulador, a partir do aparecimento do primeiro botão floral, na área experimental. Também foi relatado maior sensibilidade a aplicação do regulador de crescimento, em genótipos de ciclos tardios.

Com a aplicação do regulador de crescimento, para ambos os experimentos, os valores de transmitância capturados no índice SPAD® foram significativamente maiores com a aplicação do regulador, quando comparado ao controle. Como relatado por Uddling *et al.*, (2007), o índice SPAD® é fortemente associado ao teor de clorofila no tecido foliar vegetal. Ghorashy; Colville; Ashworth, (1969), ao descrever sobre o impacto do TIBA na morfologia e histologia da cultura da soja, observaram aumento da concentração de clorofila no tecido foliar, em função da ação retardante da expansão do limbo foliar, ocasionada pelo produto, especialmente em trifólios próximos ao ápice vegetal. Greer; Anderson, (1965) associaram a redução da expansão dos trifólios superiores, aumento na ramificação, e pecíolos foliares eretos, como fatores que aumentam a eficiência da soja na interceptação luminosa.

Nas condições do experimento, não foram capturadas diferenças significativas com a aplicação do regulador de crescimento sobre o peso de mil grãos dos genótipos (Tabela 7 e 8). Resultado este corroborado por Tanner; Ahmed, (1974). Por outro lado, Hicks; Pendleton; Scott, (1967) relataram redução significativa no peso de mil grãos. Este efeito poderá ocasionar perdas em produtividade de grãos. Todavia, é oportuno enfatizar que a planta de soja apresenta elevada plasticidade fenotípica. Neste sentido, para que a redução na densidade dos grãos não propicie perdas em produtividade, será necessário ocorrer uma compensação morfológica com o aumento de grãos, por unidade de área (Vogel *et al.*, 2021).

Baixos valores de inserção de primeira vagem consistem na principal característica associada a perdas da produtividade na cultura da soja, por ocasião da colheita mecanizada

(Ramteke; Singh; Murlidharan, 2012). A aplicação do TIBA, em cultivares de ciclo precoce, não gerou impactos significativos no caráter (Tabela 7). Contudo, genótipos de ciclo semiprecoce tiveram redução de aproximadamente um cm na média geral (Tabela 8).

Tabela 7 - Médias para caracteres para caracteres do experimento com genótipos de ciclo precoce.

Genótipo	PROD	ACAM	DPM	ALT	INS	PMG	SPAD	NDVI _p	NR	NGP	NV
2023SLP-5	6235.29 a	1.6 b	112.8 a	103.7 a	12.3 c	176.23 b	40.2 a	82.6 a	4.2 a	150.1 a	59.3 a
2023SLP-6	5559.10 a	2.1 a	114.3 a	109.3 a	14.3 b	172.97 b	40.7 a	80.7 a	4.1 a	163.7 a	63.1 a
VCUPREC-7	5552.63 a	1.6 b	116.3 a	103.0 a	18.1 a	177.47 b	39.8 a	81.3 a	4.3 a	165.7 a	67.5 a
2023SLP-16	5456.76 a	1.3 b	112.6 a	96.3 b	12.2 c	178.28 b	41.8 a	81.4 a	4.1 a	156.7 a	61.1 a
2023SLP-24	5398.98 a	1.4 b	112.4 a	97.5 b	13.4 b	175.60 b	37.4 a	83.0 a	3.5 a	172.4 a	66.3 a
2023SLP-2	5303.24 a	1.3 b	113.4 a	93.0 b	14.4 b	165.02 c	39.0 a	80.4 a	3.4 a	164.1 a	60.7 a
UFLA6301	5061.75 b	2.4 a	114.8 a	106.5 a	13.6 b	162.04 c	38.1 a	81.1 a	3.8 a	140.7 a	53.9 a
2023SLP-8	5058.52 b	1.5 b	113.7 a	91.2 b	10.9 c	167.55 c	39.4 a	82.8 a	3.3 a	136.2 a	52.4 a
VCUPREC-1	4948.14 b	2.1 a	115.4 a	90.1 b	14.4 b	168.26 c	35.4 a	81.7 a	4.6 a	158.0 a	63.2 a
VCUSEMI-1	4946.17 b	2.4 a	115.0 a	107.2 a	15.3 b	166.17 c	38.1 a	83.3 a	4.0 a	132.3 a	49.8 a
NEO680	4792.44 b	3.3 a	116.0 a	99.6 a	18.4 a	156.92 c	39.9 a	81.4 a	5.4 a	175.9 a	71.0 a
VCUPREC-2	4464.78 b	2.5 a	113.5 a	90.4 b	10.8 c	174.40 b	38.3 a	81.8 a	4.0 a	142.0 a	55.5 a
BMXZEUS	4288.78 b	1.2 b	110.6 a	67.6 c	7.7 c	206.81 a	39.6 a	80.2 a	3.2 a	191.3 a	74.9 a
Regulador											
Aplicação	5307.00 a	1.65 b	116 a	91.7 b	13.3 a	172 a	39.6 a	81.0 b	4.2 a	161 a	62.6 a
Controle	5011.00 b	2.16 a	114 b	101.5 a	13.8 a	173 a	38.5 a	82.3 a	3.8 b	155 a	60.2 a
Safras											
2023/2024	5585.00 a	1.49 b	114 a	101.1 a	12.6 b	190 a	40.1 a	84.1 a	3.15 b	158 a	60.9 a
2024/2025	4733.00 b	2.32 a	114 a	92.1 b	14.4 a	164 b	39.6 b	80.8 b	4.84 a	158 a	62.0 a

Médias seguidas da mesma letra, pertencem ao mesmo grupo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste skott-knott para genótipos, e 5% pelo teste F para Regulador e Safras.

Fonte: Do autor (2025)

Tabela 8 - Médias para caracteres do experimento com genótipos de ciclo semiprecoce.

Genótipo	PROD	ACAM	DPM	ALT	INS	PMS	SPAD	NDVI _p	NR	NGP	NV
SRP-153	5124.84 a	2.4 b	128.3 a	124.1 a	16.8 b	178.9 a	40.3 a	76.7 a	4.8 a	222.0 a	86.9 a
OLIMPO	5068.83 a	3.6 a	130.8 a	132.7 a	20.7 a	178.5 a	39.4 a	79.5 a	5.2 a	205.2 a	79.3 a
SEMI-4	4787.53 a	2.0 b	123.7 b	115.4 b	17.4 b	168.1 a	37.8 a	81.5 a	4.8 a	149.0 a	61.2 a
NEO720	4497.62 a	3.0 b	125.2 b	114.1 b	15.9 b	169.3 a	39.2 a	75.8 a	5.0 a	272.9 a	100.2 a
VORAZ	4480.26 a	4.4 a	126.8 b	120.9 b	18.1 b	173.5 a	35.5 a	79.1 a	4.7 a	196.9 a	79.0 a
NEO740	4429.05 a	3.3 b	126.6 b	110.0 b	14.9 b	158.3 a	38.7 a	76.4 a	4.7 a	214.7 a	84.6 a
DESAFIO	4423.32 a	2.7 b	125.6 b	108.4 b	16.7 b	170.2 a	39.0 a	75.0 a	3.8 a	193.9 a	75.9 a
SRP169	4296.23 a	2.8 b	125.9 b	122.0 b	17.1 b	181.4 a	38.9 a	78.5 a	5.0 a	175.9 a	77.0 a
SRP-26	4242.45 a	3.6 a	128.3 a	113.5 b	15.9 b	156.8 a	40.3 a	75.5 a	5.7 a	265.7 a	95.5 a
VCUSEMI-10	4239.36 a	3.8 a	126.4 b	115.9 b	16.9 b	161.2 a	38.8 a	78.6 a	5.4 a	210.9 a	84.4 a
VCUSEMI-12	4230.10 a	3.7 a	125.9 b	115.9 b	14.9 b	166.3 a	39.8 a	76.0 a	4.4 a	223.6 a	88.1 a
VCUSEMI-8	4217.32 a	3.9 a	128.0 a	137.4 a	21.6 a	181.6 a	36.7 a	77.5 a	5.1 a	204.2 a	79.5 a
SRP-154	3919.02 a	3.1 b	129.3 a	107.4 b	13.2 b	178.3 a	38.9 a	79.3 a	4.2 a	207.3 a	91.4 a
SRP-25	3758.26 a	4.4 a	129.6 a	116.1 b	14.6 b	165.6 a	40.7 a	77.0 a	6.2 a	289.2 a	111.1 a
SRP181	3657.42 a	3.9 a	128.5 a	115.8 b	17.7 b	165.4 a	38.0 a	79.8 a	5.5 a	211.6 a	89.9 a
Regulador											
Aplicação	4341.00 a	2.85 b	129.8 a	113.0 b	16.3 b	172.12 a	39.6 a	73.2 b	5.2 a	223 a	89.3 a
Controle	4406.00 a	3.89 a	124.7 b	122.9 a	17.3 a	168.33 a	37.8 b	79.3 a	4.7 b	209 b	81.9 b
Safras											
2023/2024	4476.49 a	3.41 b	129.7 a	123.4 a	16.9 a	174.61 a	38.46 a	82.2 a	4.1 b	189 b	74.4 b
2024/2025	4239.72 b	3.7 a	124.8 b	112.5 b	16.8 a	165.84 b	39.09 a	73.3 b	5.9 a	244 a	96.8 a

Médias seguidas da mesma letra, pertencem ao mesmo grupo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste skott-knott para genótipos; e 5% pelo teste F para Regulador e Safras.

Fonte: Do autor (2025)

No entanto, como descrito por Goufo *et al.*, (2024), é oportuno enfatizar que, geralmente as colhedoras automotrizes trabalham com altura de corte de aproximadamente 10 cm do solo. Merece destaque ainda que genótipos de ciclos tardios tendem a ter inserções mais altas. Neste cenário, a redução da altura de primeira vagem, não necessariamente estaria associada a perdas em produtividade.

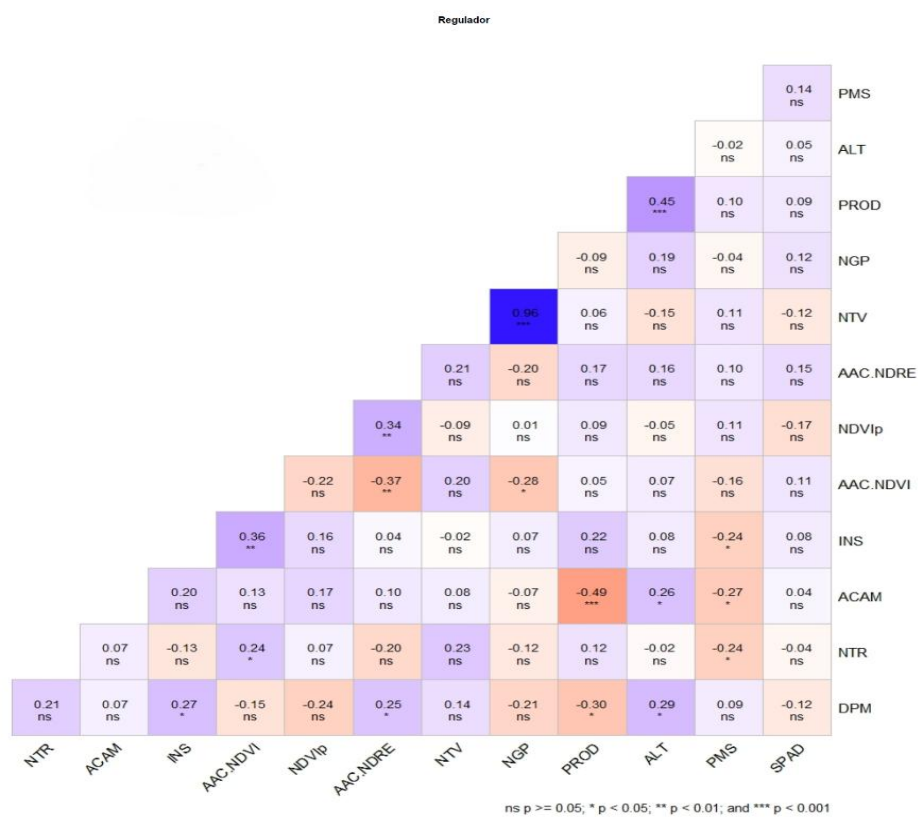
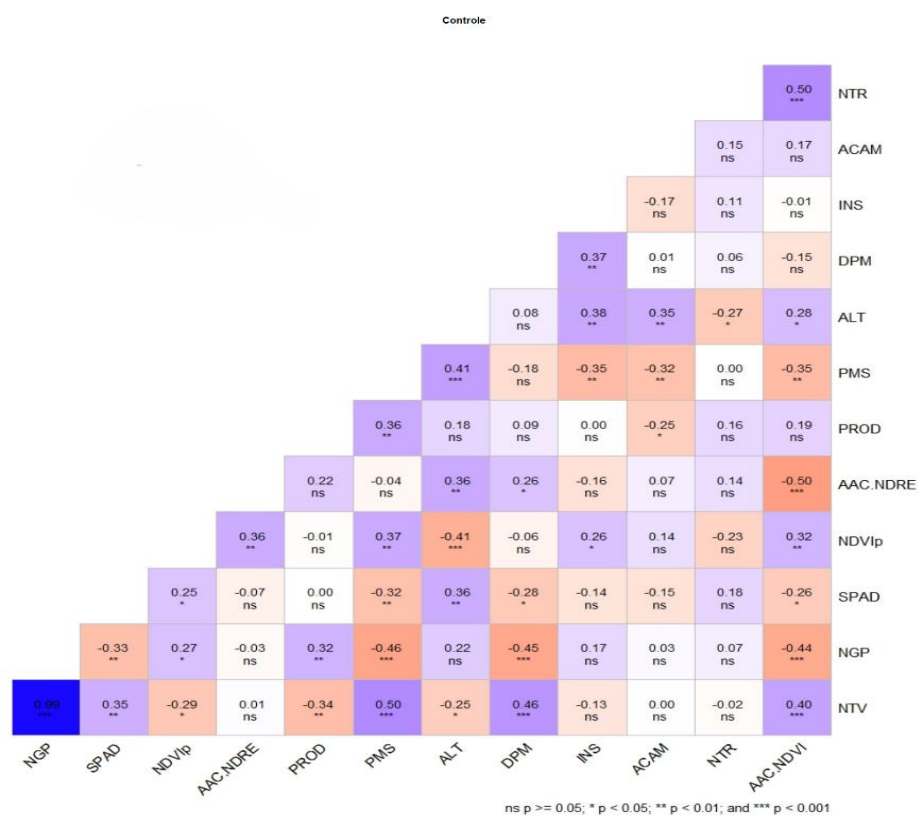
A redução de altura de plantas também foi observada nos experimentos, independente do ciclo dos genótipos avaliados. O efeito redutor de crescimento associado ao TIBA, já foi relatado em diversas condições edafoclimáticas e épocas de aplicação (Bauer; Sherbeck; Ohlrogge, 1969; Buzzello et al., 2013; Hicks; Pendleton; Scott, 1967). Estes relatos corroboram os achados obtidos no presente estudo, e ratificam capacidade do TIBA afetar diretamente a altura das cultivares de soja, independente do ciclo (Tabela 7 e 8).

A estabilidade do TIBA sobre a altura de plantas é essencial, pois, esta característica está diretamente correlacionada com o acamamento na cultura da soja (Ramteke; Singh; Murlidharan, 2012). Isto é, plantas de maior estatura e porte vegetativo, tem tendência maior ao acamamento. Nas figuras 4 e 5, pode-se observar a partir da análise de correlação, que, independentemente do ciclo dos genótipos, há associação direta entre altura de plantas e acamamento. Para genótipos de ciclo precoce, a correlação entre altura e acamamento diminuiu com a aplicação do regulador de crescimento, indicando que o TIBA ao reduzir a altura de plantas, reduziu a magnitude da medida de associação desta característica no acamamento. Uma explicação para este fato seria a redução na variabilidade, isto é, na dispersão dos dados nos dois caracteres.

Por outro lado, no experimento semiprecoce o comportamento foi inverso, com aumento na magnitude da correlação entre altura e acamamento a partir da aplicação do regulador de crescimento. Uma possível explicação para esta observação é a interação significativa entre regulador e ambiente para a altura e acamamento. Neste cenário, ao realizar a análise de correlação agrupando ambos os ambientes, a reposta diferencial do regulador em cada ambiente sobre os caracteres altura e acamamento podem superestimar a correlação os caracteres.

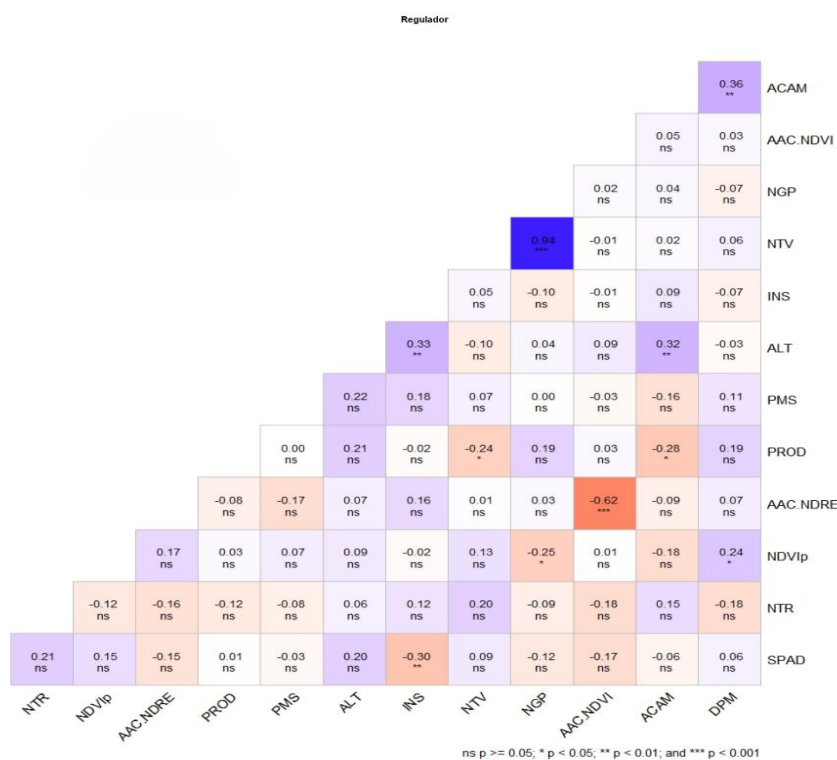
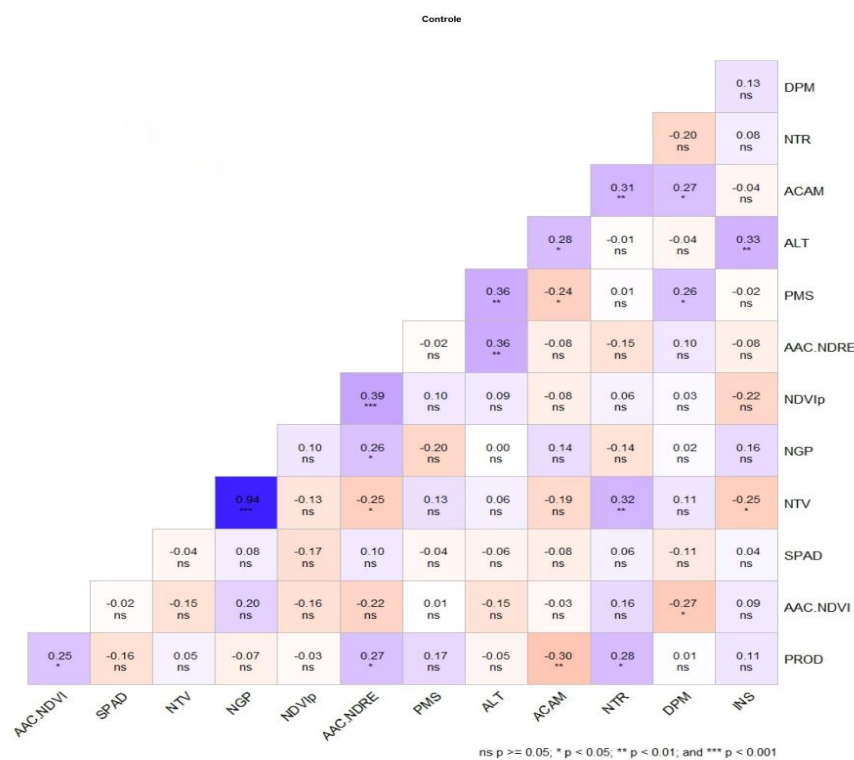
Para ambos os experimentos o efeito do regulador de crescimento figurou-se como efetivo para reduzir as notas de acamamento de plantas. Para os genótipos de ciclo semiprecoce, em aproximadamente 35,7%, e para genótipos de ciclo precoce e 7,83%.

Figura 4 - Correlação de spearman para genótipos de ciclo precoce.



Fonte: Do autor (2025)

Figura 5 - Correlação de spearman para genótipos de ciclo semiprecoce



Fonte: Do autor (2025)

Na literatura, estudos como de Greer; Anderson, 1965, observaram redução nas notas de acamamento em função da aplicação do TIBA, ressaltando que este é um dos principais efeitos indiretos da aplicação do regulador, com redução proeminente nas notas de acamamento, em ambiente de produção, sobretudo com elevada densidade de população de plantas.

Tanner; Ahmed, 1974, observaram que em ambiente com regime hídrico favorável e temperaturas adequadas, a aplicação do TIBA resultou em queda nas notas de acamamento. No entanto, em trabalho realizado por (Clapp, 1973), apesar da redução significativa de altura, os mesmos resultados não foram observados para as notas de acamamento. Tais trabalhos evidenciam que a capacidade de reduzir significativamente o acamamento com o emprego do regulador de crescimento, está associada ao regime hídrico favorável ao desenvolvimento vegetativo da cultura. Neste sentido o TIBA, ao reduzir a altura de plantas, assim como deslocar o balanço fonte dreno de estruturas vegetativas para reprodutivas (Tanner; Ahmed, 1974), pode reduzir notas de acamamento da cultura.

A utilização de reguladores de crescimento pode ocasionalmente resultar em efeitos secundários sobre o biociclo vegetal, devido ao fato de hormônios vegetais participarem de diversas reações químicas dentro do metabolismo vegetal (Amoanimaa-Dede *et al.*, 2022). Neste sentido, além de impactar em caracteres como número de vagens, grãos, altura e ramificação de plantas, o regulador de crescimento em genótipos semiprecoces, alongou o ciclo com aumento médio de quatro dias para atingir a maturação absoluta. Possivelmente, o efeito do regulador de crescimento sobre o ciclo, ocorre em função da redução da dominância apical ocasionada pelo regulador de crescimento, a partir do bloqueio de transporte de auxinas (Zou; Ren; Li, 2019).

Como resultado, tem-se a formação de novas ramificações, devido ao descolamento do balanço hormonal para as citocininas. No entanto, a partir do momento que novos ramos são formados, os novos ápices de crescimento produzem auxinas, resultando em concentrações superiores do hormônio no tecido vegetal ao final do ciclo (Ibrahim *et al.*, 2021). Apesar do mecanismo não estar completamente elucidado, concentrações altas de auxinas ao final do ciclo de desenvolvimento vegetal, podem resultar em efeito antagonista a senescência vegetal (Mueller-Roeber; Balazadeh, 2014), resultando no efeito *stay green*.

A partir de índices de vegetação, como NDVI e NDRE, é possível de maneira indireta, monitorar ao longo de uma série temporal caracteres como biomassa vegetal, atividade fotossintética e interceptação luminosa do dossel vegetal (Herr *et al.*, 2023). (Karpiński; Kocira, 2025), relataram o potencial do emprego dos índices de vegetação para capturar o efeito de bioestimulantes na cultura da soja, por meio de índices como o NDRE, correlacionando positivamente com características como biomassa vegetal.

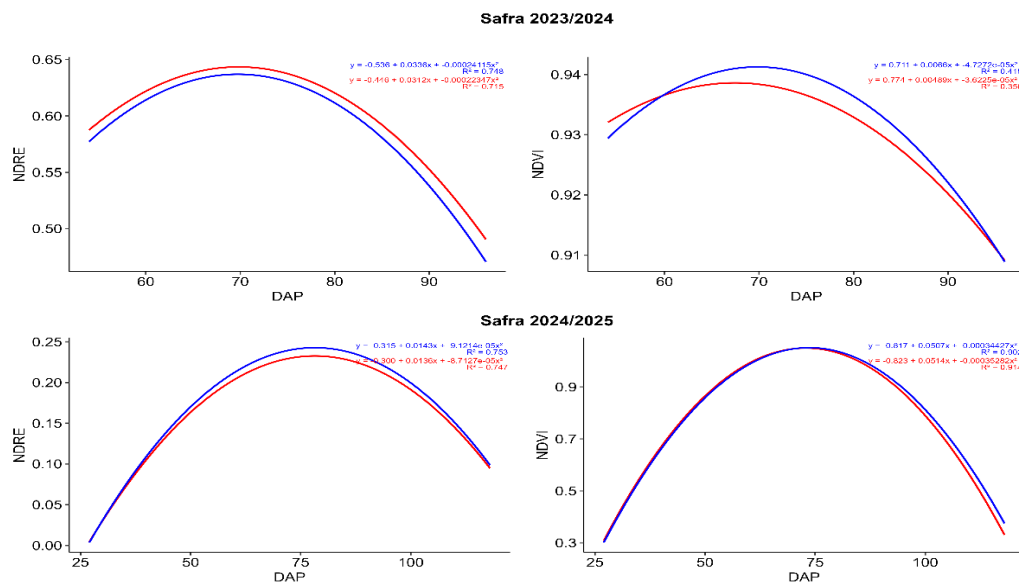
A análise utilizando dados temporais, pode ser utilizada como forma de avaliar o comportamento de tratamentos ao longo do tempo, a partir de uma regressão de dados longitudinais dos índices de vegetação (Song *et al.*, 2025). Outra opção é o cálculo da área abaixo da curva do índice de vegetação. Desta forma, agrupando dados do índice ao longo do tempo em uma única variável para análise (Matias *et al.*, 2022).

Como observado na figura 6, o regulador de crescimento TIBA, resultou em deslocamento com pico de resposta espectral 69.79 DAP. Para o controle, o NDVI máximo foi obtido aproximadamente em 67 DAP. Já no ano agrícola 2024/25, para o índice NDVI, o controle atingiu a resposta máxima com 72 dias.

O experimento com genótipos de ciclo semiprecoce (figura 7), apresentaram maior diferença entre o pico de resposta para os índices de vegetação, em especial o NDRE. Para a safra 2023/24, os genótipos com aplicação do regulador, em média atingiram o pico de reflectância do índice com aproximadamente 79 dias. Por seu turno, o controle a máxima reflectância ocorreu aos 74 dias. Já na safra 2024/25, o regulador deslocou o máximo do índice para 87 dias.

Cabe ressaltar que apesar dos valores máximos de índices, estarem associados ao controle, não necessariamente o impacto do regulador está relacionado a perdas em produtividade. Índices como o NDRE e NDVI, são sensíveis a biomassa, índice de área foliar e cobertura vegetal (Gano *et al.*, 2024). Dentre os resultados observados com a aplicação do regulador, tem-se a redução da altura de plantas e estímulo a maior ramificação lateral o que corrobora com a maior formação de estruturas reprodutivas, como vagens. Logo, a magnitude do índice pode ser alterada sem necessariamente reduzir a produtividade de grãos.

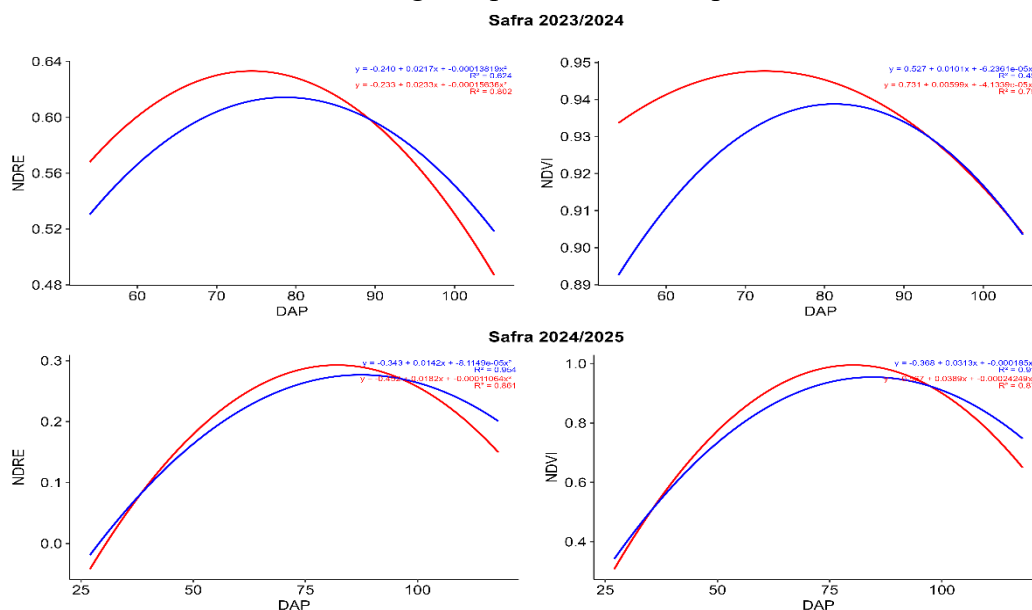
Figura 6- Modelos de regressão longitudinal dos índices de vegetação, em função do tratamento em genótipos de ciclo precoce.



Em azul, modelo com aplicação do regulador de crescimento. Em vermelho, modelo sem aplicação.

Fonte: Do autor (2025)

Figura 7- Modelos de regressão longitudinal dos índices de vegetação, em função do tratamento em genótipos de ciclo semiprecoce.



Em azul, modelo com aplicação do regulador de crescimento. Em vermelho, modelo sem aplicação.

Fonte: Do autor (2025)

Neste cenário, menores valores associados ao índice de vegetação ao longo do tempo, podem estar relacionados a mudanças no balanço fonte e dreno vegetal, com direcionamento de maior volume de fotoassimilados para a formação de estruturas reprodutivas, em detrimento do crescimento vegetativo, podendo impactar positivamente sobre a produtividade.

Ganhos em produtividade foram observados nos genótipos de ciclo precoce, com a aplicação do regulador resultando em ganho na média geral de aproximadamente 260 kg.ha⁻¹. No entanto, o experimento com cultivares de ciclo semiprecoce não apresentou resposta significativa ao regulador, o que denota comportamento não coincidente do regulador quanto a resposta das diferentes linhagens avaliadas. Possivelmente devido à estiagem observada nos três últimos decêndios do ciclo dos genótipos semiprecozes durante a safra 2024/25, impactando no enchimento de grãos. Resposta, que leva a necessidade de novos estudos, visando caracterizar os fatores genéticos e ambientais associados a resposta ao regulador de crescimento pelos genótipos.

Cabe ressaltar, contudo, que ganhos em produtividade com redução do acamamento, ocorrem em função do menor volume de grãos perdidos pela plataforma da colhedora (Beiküfner *et al.*, 2019; Ramteke; Singh; Murlidharan, 2012). Todavia, no presente estudo adotou-se a colheita semimecanizada por meio de uma roçadora costal e posterior trilha das parcelas em trilhadora diesel. Deste modo, toda a parte aérea das plantas na área útil da parcela, foram coletadas, e o efeito do regulador de crescimento sobre a produtividade de grãos pode estar sendo subestimado.

5 CONCLUSÕES

O regulador TIBA efetivamente modula o crescimento e o desenvolvimento da cultura da soja, afetando diretamente os caracteres altura, número de ramos, de vagens, de grãos por planta e dias para maturação

O regulador de crescimento afeta significativamente o acamamento das plantas de soja, consistindo em uma ferramenta de manejo para reduzir impactos do acamamento na produtividade.

A aplicação do regulador resulta em ganhos na produtividade, especialmente em genótipos de ciclo precoce, de 260 kg.ha⁻¹.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMOWSKI, M.; FRIML, J. PIN-dependent auxin transport: action, regulation, and evolution. **Plant Cell**, v. 27, n. 1, p. 20–32, 2015.

AGUDELO-MORALES, C. E. et al. Phytohormones and plant growth regulators. **J. Sci. Technol. Appl.**, v. 10, p. 27–65, 2021.

ALBRECHT, L. P. et al. Plant growth regulator in the chemical composition and yield of soybeans. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 774–782, 2012.

ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype–environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, n. 5, p. cropscl1964.0011183X000400050021x, 1964.

AMOANIMAA-DEDE, H. et al. Growth regulators promote soybean productivity: a review. **PeerJ**, v. 10, p. e12556, 2022.

AYVACI, U. et al. Treatment with auxin and paclobutrazol mediates ROS regulation, antioxidant defence system and cell wall response in salt-treated soybean. **Brazilian Journal of Botany**, v. 47, n. 3, p. 771–794, 2023.

BASSO, M. F.; NEVES, M. F.; GROSSI-DE-SÁ, M. F. Agriculture evolution, sustainability and trends, focusing on Brazilian agribusiness: a review. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1296337, 2023.

BATES, D. et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, p. 1–48, 2015.

BAUER, M. E.; SHERBECK, T. G.; OHLROGGE, A. J. Effects of rate, time, and method of application of TIBA on soybean production. **Agronomy Journal**, v. 61, n. 4, p. 604–606, 1969.

BEIKÜFNER, M. et al. Comparative harvest efficiency of soybeans between cropping systems affected by first pod height and plant length. **Organic Farming**, v. 5, n. 1, p. 3–13, 2019.

BLAKESLEE, J. J.; PEER, W. A.; MURPHY, A. S. Auxin transport. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 8, n. 5, p. 494–500, 2005.

BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Editora UFV, 1999.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. Melhoramento de plantas. Viçosa: Oficina de Textos, 2021.

BUZZELLO, G. L. et al. Action of auxin inhibitors on growth and grain yield of soybean. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 621–628, 2013.

CATO, S. C.; CASTRO, P. R. D. C. E. Redução da altura de plantas de soja causada pelo ácido 2,3,5-triodobenzóico. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, 2006.

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids**, v. 25, n. 1, 2018.

CEPEA. *Cadeia da soja e do biodiesel: PIB, empregos e comércio exterior – 4º trimestre de 2023*. 2024. Disponível em: <https://cepea.esalq.usp.br/br/pib-da-cadeia-de-soja-e-biodiesel-1.aspx>. Acesso em: 23 maio 2024.

CESB. *Fatores decisivos para se obter produtividade de soja acima de 4.200 kg/ha – CESB – Comitê Estratégico Soja Brasil*. 2016. Disponível em: <https://www.cesbrasil.org.br/fatores-decisivos-para-se-obter-produtividade-de-soja-acima-de-4-200-kg-ha/>. Acesso em: 24 maio 2024.

CHEN, W. et al. Plant growth regulators improve nitrogen metabolism, yield, and quality of soybean–rhizobia symbiosis. **Annals of Microbiology**, v. 73, n. 1, 2023.

CHOUDHURY, S.; JOHNS, S. M.; PANDEY, S. A convenient, soil-free method for the production of root nodules in soybean to study the effects of exogenous additives. **Plant Direct**, v. 3, n. 4, 2019.

CLAPP, J. G. Response of Bragg soybean to TIBA (2,3,5-triiodobenzoic acid). **Agronomy Journal**, v. 65, n. 1, p. 41–43, 1973.

CONAB. *Portal de informações agropecuária*. 2025. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html>. Acesso em: 23 maio 2024.

COSTA-NETO, G. et al. EnvRtype: A software to interplay enviromics and quantitative genomics in agriculture. **G3: Genes, Genomes, Genetics**, v. 11, n. 4, 2021.

DA ROSA, W. P.; CAVERZAN, A.; CHAVARRIA, G. Grain productive efficiency of soybean plants under lactofen application. **Plant Science Today**, v. 7, n. 2, p. 288–295, 2020.

DALL'AGNOL, A. *A Embrapa soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil*. Brasília, DF: Embrapa, 2016. v. 1. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1043614/a-embrapa-soja-no-contexto-do-desenvolvimento-da-soja-no-brasil-historico-e-contribuicoes>. Acesso em: 23 maio 2024.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, 2007.

DARWIN, C.; DARWIN, F. *The power of movement in plants*. Nova York: D. Appleton and Company, 1883.

DAVIES, P. J. *Plant hormones: physiology, biochemistry and molecular biology*. Springer Science & Business Media, 2013. v. 1.

DE ALMEIDA, O. M.; DE MELO, H. C.; PORTES, T. D. A. Growth and yield of the common bean in response to combined application of nitrogen and paclobutrazol. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 1, p. 127–132, 2016.

DESTA, B.; AMARE, G. Paclobutrazol as a plant growth regulator. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 8, n. 1, p. 1–15, 2021.

- DONG, S. et al. Mechanism of mepiquat chloride regulating soybean response to drought stress revealed by proteomics. **Plants**, v. 12, n. 10, 2023.
- ENDERS, T. A.; STRADER, L. C. Auxin activity: Past, present, and future. **American Journal of Botany**, v. 102, n. 2, p. 180–196, 2015.
- FERRAZ, M. A. J. et al. Defoliation categorization in soybean with machine learning algorithms and UAV multispectral data. **Agriculture (Basel)**, v. 14, n. 11, p. 2088, 2024.
- GANO, B. et al. Drone-based imaging sensors, techniques, and applications in plant phenotyping for crop breeding: A comprehensive review. **Plant Phenome Journal**, v. 7, n. 1, 2024.
- GELDNER, N. et al. Auxin transport inhibitors block PIN1 cycling and vesicle trafficking. **Nature**, v. 413, n. 6854, p. 425–428, 2001.
- GHORASHY, S. R.; COLVILLE, W. L.; ASHWORTH, D. L. Effects of 2,3,5-triiodobenzoic acid on the morphology and anatomy of *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v. 9, n. 4, p. 399–402, 1969.
- GOMES, F. P. *Curso de estatística experimental*. Fealq, 2022. v. 1.
- GOUFO, P. et al. Insights into management and physiological determinants of lowest pod height in soybean. **Agronomy Journal**, v. 116, n. 6, p. 3191–3204, 2024.
- GREER, H. A. L.; ANDERSON, I. C. Response of soybeans to triiodobenzoic acid under field conditions. **Crop Science**, v. 5, n. 3, p. cropscl1965.0011183X000500030009x, 1965.
- GUPTA, S. et al. Long juvenility trait: A vehicle for commercial utilization of soybean (*Glycine max*) in lower latitudes. **Plant Breeding**, v. 140, n. 4, p. 543–560, 2021.
- HARTMAN, G. L.; WEST, E. D.; HERMAN, T. K. Crops that feed the world 2. Soybean—worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. **Food Security**, v. 3, n. 1, p. 5–17, 2011.
- HERR, A. W. et al. Unoccupied aerial systems imagery for phenotyping in cotton, maize, soybean, and wheat breeding. **Crop Science**, v. 63, n. 4, p. 1722–1749, 2023.
- HICKS, D. R.; PENDLETON, J. W.; SCOTT, W. O. Response of Soybeans to Tiba (2,3,5-Triiodobenzoic Acid) and High Fertility Levels. **Crop Science**, v. 7, n. 4, p. 397–398, 1967.
- HUME, D. J.; TANNER, J. W.; CRISWELL, J. G. Effects of Environment on Response of Soybeans to TIBA. **Crop Science**, v. 12, n. 3, p. 293–294, 1972.
- HYMOWITZ, T. The History of the Soybean. In: **SOYBEANS: CHEMISTRY, PRODUCTION, PROCESSING, AND UTILIZATION**. Elsevier Inc., 2008. p. 1–31.

IBRAHIM, H. M. et al. Effect of Source–Sink Ratio Manipulation on Growth, Flowering, and Yield Potential of Soybean. **Agriculture**, v. 11, n. 10, p. 926, 2021.

JAIDKA, M. et al. Source-sink optimization and morpho-physiological response of soybean [*Glycine max*] to detopping and mepiquat chloride application. **Legume Research**, v. 43, n. 3, p. 401–407, 2020.

KARPIŃSKI, P.; KOCIRA, S. Possibilities of Using a Multispectral Camera to Assess the Effects of Biostimulant Application in Soybean Cultivation. **Sensors**, v. 25, n. 11, p. 3464, 2025.

KASAHARA, H. Current aspects of auxin biosynthesis in plants. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v. 80, n. 1, p. 34–42, 2016.

KATEL, S. et al. Impacts of plant growth regulators in strawberry plant: A review. **Heliyon**, v. 8, n. 12, 2022.

KIM, M. Y. et al. Tracing soybean domestication history: From nucleotide to genome. **Breeding Science**, v. 61, n. 5, p. 445–452, 2011.

KLEINE-VEHN, J. et al. Subcellular Trafficking of the Arabidopsis Auxin Influx Carrier AUX1 Uses a Novel Pathway Distinct from PIN1. **The Plant Cell**, v. 18, n. 11, p. 3171–3181, 2006.

KLÍMA, P.; LAŇKOVÁ, M.; ZAŽÍMALOVÁ, E. Inhibitors of plant hormone transport. **Protoplasma**, v. 253, n. 6, p. 1391–1404, 2015.

KOZAK, M.; PIEPHO, H. P. What's normal anyway? Residual plots are more telling than significance tests when checking ANOVA assumptions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 204, n. 1, p. 86–98, 2018.

LUDWIG-MÜLLER, J. Auxin conjugates: Their role for plant development and in the evolution of land plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 6, p. 1757–1773, 2011.

MANGIALARDI, J. P. et al. Growth regulation with lactofen does not affect seed yield of irrigated soybean. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 3, p. 1112–1115, 2016.

MARTINS, I. A. et al. Lactofen and kinetin in soybean yield. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. 1–10, 2020.

MATIAS, F. I. et al. Bison-Fly: An open-source UAV pipeline for plant breeding data collection. **The Plant Phenome Journal**, v. 5, n. 1, p. e20048, 2022.

MATIAS, F. I.; CARAZA-HARTER, M. V.; ENDELMAN, J. B. FIELDImageR: An R package to analyze orthomosaic images from agricultural field trials. **Plant Phenome Journal**, v. 3, n. 1, 2020.

MIKHAILOVA, M. P. et al. Evaluation of the influence of biologically active substances on the physiological processes of soybean plants with the use of multispectral camera and unmanned aerial vehicle. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 548, n. 3, p. 032028, 2020.

MUELLER-ROEBER, B.; BALAZADEH, S. Auxin and Its Role in Plant Senescence. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 33, n. 1, p. 21–33, 2014.

MÜLLER, A.; HILLEBRAND, H.; WEILER, E. W. Indole-3-acetic acid is synthesized from L-tryptophan in roots of *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, v. 206, n. 3, p. 362–369, 1998.

NAFEES, M. et al. Paclobutrazol soil drenching suppresses vegetative growth, reduces malformation, and increases production in mango. **International Journal of Fruit Science**, v. 10, n. 4, p. 431–440, 2010.

NAKAI, S.; FUJITA, M.; KAMEI, Y. Health Promotion Effects of Soy Isoflavones. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**, v. 66, n. 6, p. 502–507, 2020.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. C. metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 6, p. 783–789, 2020.

ORLOWSKI, J. M.; GREGG, G. L.; LEE, C. D. Early-season Lactofen application has limited effect on soybean branch and mainstem yield components. **Crop Science**, v. 56, n. 1, p. 432–438, 2016.

PAN, X.; CHEN, J.; YANG, Z. Auxin regulation of cell polarity in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 28, p. 144–153, 2015.

PETRÁŠEK, J. et al. Do phytoalexins inhibit auxin efflux by impairing vesicle traffic?. **Plant Physiology**, v. 131, n. 1, p. 254–263, 2003.

PETRÁŠEK, J.; FRIML, J. Auxin transport routes in plant development. **Development (Cambridge, England)**, v. 136, n. 16, p. 2675–2688, 2009.

PHILLIPS, G. C.; GARDA, M. Plant tissue culture media and practices: an overview. **In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant**, v. 55, n. 3, p. 242–257, 2019.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Biology**, v. 51, n. 1, p. 501–531, 2000.

RADEMACHER, W. Plant Growth Regulators: Backgrounds and Uses in Plant Production. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 4, p. 845–872, 2015.

RADEMACHER, W.; BRAHM, L. Plant Growth Regulators. In: **ULLMANN'S ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMISTRY**. 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1002/14356007.a20_415.pub2.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Genética na agropecuária**. Editora UFLA, 2012.

RAMTEKE, R.; SINGH, D.; MURLIDHARAN, P. Selecting soybean (Glycine max) genotypes for insertion height of the lowest pod, the useful trait for combine harvester. **The Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 82, n. 6, p. 511–515, 2012.

RANI, R. et al. Analysis of genotype $\times$ environment interactions for agronomic traits of soybean (Glycine max [L.] Merr.) using association mapping. **Frontiers in Genetics**, v. 13, 2023.

SALEEM, K. et al. Alleviating drought stress in strawberry plants: unraveling the role of paclobutrazol as a growth regulator and reducer of oxidative stress induced by reactive oxygen and carbonyl species. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 43, n. 9, p. 3238–3253, 2024.

SANTANA, D. C. et al. Machine learning in the classification of Asian rust severity in soybean using hyperspectral sensor. **Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 313, 2024.

SANTOS, C.; DIAS, C. Note on the coefficient of variation properties. **Brazilian Electronic Journal of Mathematics**, v. 4, 2021. Disponível em: Acesso em: 11 jul. 2025.

SARKAR, S. et al. Assessment of soybean lodging using UAV imagery and machine learning. **Plants**, v. 12, n. 16, p. 2893, 2023.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507–512, 1974.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BOREM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Editora UFV, 2015.

SEIXAS, C. D. S. et al. (org.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020. v. 1.

SHIMIZU-SATO, S.; TANAKA, M.; MORI, H. Auxin-cytokinin interactions in the control of shoot branching. **Plant Molecular Biology**, v. 69, n. 4, p. 429–435, 2009.

SIMON, S.; PETRÁŠEK, J. Why plants need more than one type of auxin. **Plant Science**, v. 180, n. 3, p. 454–460, 2011.

SINGH, A. K. et al. High-throughput phenotyping in soybean. In: ZHOU, J.; NGUYEN, H. T. (org.). **High-throughput crop phenotyping**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 129–163. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-73734-4_7.

SONG, X. et al. High-throughput phenotyping of canopy dynamics of wheat senescence using UAV multispectral imaging. **Smart Agricultural Technology**, v. 12, p. 101176, 2025.

SONG, S. et al. Physiology and proteomics analyses reveal the regulatory mechanism of mepiquat chloride in soybean. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, 2023.

SONG, Y.; CHENG, Y. Insight into the mode of action of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) as an herbicide. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 56, n. 2, p. 106–113, 2014.

SUMAN, M. et al. Effect of plant growth regulators on fruit crops. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 6, n. 2, p. 331–337, 2017.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TANNER, J. W.; AHMED, S. Growth analysis of soybeans treated with TIBA. **Crop Science**, v. 14, n. 3, p. 371–374, 1974.

TEALE, W.; PALME, K. Naphthylphthalamic acid and the mechanism of polar auxin transport. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 2, p. 303–312, 2018.

UDDLING, J. et al. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. **Photosynthesis Research**, v. 91, n. 1, p. 37–46, 2007.

VOGEL, J. T. et al. Soybean yield formation physiology – a foundation for precision breeding based improvement. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plantscience/articles/10.3389/fpls.2021.719706/full>.

WANG, X. et al. Mepiquat chloride inhibits soybean growth but improves drought resistance. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.

WANG, X. et al. Regulation of soybean drought response by mepiquat chloride pretreatment. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023.

WAX, L. M.; PENDLETON, J. W. Influence of 2,3,5-triiodobenzoic acid (TIBA) on soybeans planted in different cultural systems. **Agronomy Journal**, v. 60, n. 4, p. 425–427, 1968.

XU, C. et al. Responses of branch number and yield component of soybean cultivars tested in different planting densities. **Agriculture**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture>.

YAMAGUCHI, I. et al. Plant hormones. In: LIU, H.-W. (Ben); MANDER, L. (org.). **Comprehensive Natural Products II**. Oxford: Elsevier, 2010. p. 9–125. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080453828000927>.

YAN, C. et al. Positive correlation of lodging resistance and soybean yield under the influence of uniconazole. **Agronomy**, v. 14, n. 4, 2024.

YANG, Q. et al. Environmental and genetic regulation of plant height in soybean. **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 1, 2021.

ZHAO, C. et al. Crop phenomics: current status and perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 433490, 2019.

ZOU, M.; REN, H.; LI, J. An auxin transport inhibitor targets villin-mediated actin dynamics to regulate polar auxin transport. **Plant Physiology**, v. 181, n. 1, p. 161–178, 2019.