

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

ALEXANDRE JUSTINO DA COSTA FILHO

ARQUITETURA DE PLANTA E PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO RAJADO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM RESPOSTA A FONTES DE FÓSFORO E REGULADOR DE CRESCIMENTO

Monte Carmelo  
2026

ALEXANDRE JUSTINO DA COSTA FILHO

ARQUITETURA DE PLANTA E PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO RAJADO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM RESPOSTA A FONTES DE FÓSFORO E REGULADOR DE CRESCIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Edson Simão

Monte Carmelo  
2026

ALEXANDRE JUSTINO DA COSTA FILHO

ARQUITETURA DE PLANTA E PRODUTIVIDADE DE FEIJÃO RAJADO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM RESPOSTA A FONTES DE FÓSFORO E REGULADOR DE CRESCIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 10 de julho de 2026

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Edson Simão  
Orientador

---

Profa. Dra. Andressa Giovannini Costa  
Membro da Banca

---

Profa. Dra. Gleice Aparecida de Assis  
Membro da Banca

## RESUMO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) destaca-se pela elevada importância econômica, social e nutricional, constituindo uma das principais fontes de proteína vegetal na alimentação da população brasileira. Diante da necessidade de aperfeiçoar o manejo nutricional e fisiológico da cultura, este trabalho teve como objetivo avaliar o padrão de crescimento e a produtividade do feijoeiro-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRS Radiante, em resposta a diferentes fontes de fósforo e a doses do regulador de crescimento Ethrel®, em Monte Carmelo, Minas Gerais. O experimento foi conduzido no Jardim Experimental de Botânica da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, em delineamento de blocos casualizados, com esquema de parcelas sub-subdivididas e três blocos. As parcelas foram constituídas por três fontes de fósforo (superfosfato triplo, fertilizante organomineral peletizado e Top Phos® 280 HP), todas aplicadas na dose de 135 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As subparcelas corresponderam a quatro doses de Ethrel® (0, 300, 450 e 600 mL ha<sup>-1</sup>). Foram avaliadas a altura das plantas (cm), a altura de inserção do primeiro fruto (cm), o número de vagens por planta (vagens planta<sup>-1</sup>), o número de sementes por fruto (sementes fruto<sup>-1</sup>) e a produtividade de grãos (sc ha<sup>-1</sup>). As avaliações foram realizadas no estágio fenológico R9, correspondente ao ponto de colheita do feijoeiro, quando as plantas apresentavam maturação fisiológica e os vagens estavam aptos para a colheita. Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, utilizando o software R. As fontes de fósforo não promoveram efeito significativo sobre nenhuma das variáveis avaliadas. Em contrapartida, as doses de Ethrel® influenciaram significativamente todas as características analisadas, apresentando comportamento linear decrescente. O aumento das doses reduziu a altura das plantas, a altura de inserção do primeiro fruto, o número de vagens por planta, o número de sementes por fruto e, conseqüentemente, a produtividade, evidenciando alterações expressivas na arquitetura das plantas e impacto negativo sobre o desempenho produtivo da cultura. Conclui-se que, nas condições deste estudo, as fontes de fósforo avaliadas não influenciaram o crescimento nem o rendimento da cultura. Por outro lado, a aplicação de Ethrel® mostrou-se eficiente na modificação da arquitetura das plantas; entretanto, as doses utilizadas foram excessivas para o estágio fenológico de aplicação, comprometendo o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo e reduzindo a produtividade do feijão-rajado.

**Palavras-chave:** fertilização fosfatada, etileno, componentes de rendimento, crescimento vegetal.

## ABSTRACT

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most important crops in Brazil due to its economic, social, and nutritional relevance, representing a major source of plant protein in the Brazilian diet. Given the need to improve the nutritional and physiological management of this crop, this study aimed to evaluate the growth pattern and grain yield of the pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar BRS Radiante in response to different phosphorus sources and rates of the plant growth regulator Ethrel®, in Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil. The experiment was conducted at the Experimental Botanical Garden of the Federal University of Uberlândia, Monte Carmelo Campus, using a randomized complete block design with a split-split plot arrangement and three replications. The main plots consisted of three phosphorus sources (triple superphosphate, pelleted organomineral fertilizer, and Top Phos® 280 HP), all applied at a rate of 135 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. The subplots comprised four Ethrel® rates (0, 300, 450, and 600 mL ha<sup>-1</sup>). Plant height (cm), first pod insertion height (cm), number of pods per plant (pods plant<sup>-1</sup>), number of seeds per pod (seeds pod<sup>-1</sup>), and grain yield (bags ha<sup>-1</sup>) were evaluated. Assessments were performed at the R9 growth stage, corresponding to the harvest stage, when plants had reached physiological maturity and pods were ready for harvest. Data were subjected to analysis of variance and regression analysis using R software. Phosphorus sources did not significantly affect any of the evaluated variables. In contrast, Ethrel® rates significantly influenced all evaluated traits, showing a linear decreasing response. Increasing Ethrel® rates reduced plant height, first pod insertion height, number of pods per plant, number of seeds per pod, and consequently grain yield, indicating marked changes in plant architecture and a negative impact on crop performance. It was concluded that, under the conditions of this study, the phosphorus sources evaluated did not influence crop growth or grain yield. Conversely, Ethrel® application effectively altered plant architecture; however, the rates tested were excessive for the phenological stages of application, impairing vegetative and reproductive development and reducing the grain yield of the BRS Radiante common bean cultivar.

**Keywords:** phosphorus fertilization; ethylene; yield components; plant growth.

*Dedico este trabalho a todos os agricultores que, com dedicação, coragem e perseverança, cultivam a terra e alimentam o mundo. Minha admiração e respeito por seu trabalho incansável.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde, força, sabedoria e perseverança ao longo desta caminhada. Nos momentos de dificuldade, incerteza e cansaço, foi a fé que me sustentou e me permitiu seguir em frente até a conclusão desta importante etapa da minha vida.

Aos meus pais, Thaise Ferreira Marra e Alexandre Justino da Costa, expresso minha mais profunda gratidão por todo amor, apoio, incentivo e dedicação. Obrigado por acreditarem em meus sonhos, pelos ensinamentos, pelos sacrifícios realizados ao longo dos anos e por estarem ao meu lado em todos os momentos. Esta conquista também pertence a vocês.

À minha namorada, Livia Moreira Silva, agradeço pelo amor, companheirismo, paciência e apoio durante toda essa jornada. Obrigado por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis, por acreditar em mim e por tornar essa caminhada mais leve e especial.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edson Simão, minha sincera gratidão pela orientação, paciência, disponibilidade, confiança e pelos conhecimentos compartilhados ao longo deste trabalho. Seus ensinamentos e direcionamentos foram essenciais para minha formação acadêmica e profissional.

À Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, e a todos os professores que fizeram parte da minha formação, agradeço pela estrutura oferecida, pelos ensinamentos transmitidos e por contribuírem para meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus amigos Daniel Fernandes Cardoso Alves, Gustavo Pereira Oliveira, João Pedro Boin, Felipe Parreira, João Vitor Garcia, Ana Clara Piazza e Edivane Cardoso da Silva, meu muito obrigado pela amizade, apoio, incentivo e pelos momentos compartilhados ao longo dessa jornada. Cada conversa, conselho e palavra de motivação foram importantes para superar os desafios encontrados no caminho.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para minha formação acadêmica. Levo comigo cada aprendizado, cada experiência e cada pessoa que fez parte desta trajetória.

*Tudo tem o seu tempo determinado, e há  
tempo para todo propósito debaixo do céu.*

*Eclesiastes 3:1*

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                      |                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Figura 1</b> - Altura de plantas de feijão-rajado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) em função de doses do regulador de crescimento Ethrel® .....                    | 26                                  |
| <b>Figura 2</b> - Altura de inserção do primeiro fruto de feijão-rajado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) em função de doses do regulador de crescimento Ethrel® ..... | 28                                  |
| <b>Figura 3</b> - Número de vagens por planta de feijão-rajado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) em função de doses do regulador de crescimento Ethrel® .....          | 30                                  |
| <b>Figura 4</b> - Número de sementes por fruto de feijão-rajado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) em função de doses do regulador de crescimento Ethrel® .....         | 32                                  |
| <b>Figura 5</b> - Produtividade de grãos de feijão-rajado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) em função de doses do regulador de crescimento Ethrel® .....               | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> - Resumo da análise de variância para altura de plantas (cm) de feijão-rajado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) em função de fontes de adubo e doses de aplicação de Ethrel® .....                                                                | 25 |
| <b>Tabela 2</b> - Resumo da análise de variância para altura de inserção do primeiro fruto (cm) de feijão-rajado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) em função de fontes de adubo e doses de aplicação de Ethrel® ..                                                | 27 |
| <b>Tabela 3</b> - Resumo da análise de variância para número de vagens de feijão-rajado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) em função de fontes de adubo e doses de aplicação de Ethrel® .....                                                                      | 29 |
| <b>Tabela 4</b> - Resumo da análise de variância para número de sementes por fruto de feijão-rajado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) em função de fontes de adubo e doses de aplicação de Ethrel® .....                                                          | 31 |
| <b>Tabela 5</b> - Resumo da análise de variância para produtividade (sc ha <sup>-1</sup> ) de feijão-rajado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) em função de fontes de adubo e doses de aplicação de Ethrel® .....                                                  | 33 |
| <b>Tabela 6</b> - Resultados dos testes de normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e aditividade dos blocos para as variáveis avaliadas em feijão-rajado ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) submetido a fontes de adubação e doses de Ethrel® ..... | 43 |

## SUMÁRIO

|      |                                                                                     |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.   | INTRODUÇÃO.....                                                                     | 12 |
| 2.   | OBJETIVOS .....                                                                     | 14 |
| 3.   | REVISÃO DE LITERATURA .....                                                         | 14 |
| 3.1. | O feijão-rajado: características e importância agronômica .....                     | 14 |
| 3.2. | O fósforo no desenvolvimento do feijoeiro: funções e manejo .....                   | 16 |
| 3.3. | Uso de reguladores de crescimento no feijão: aplicações e efeitos fisiológicos..... | 17 |
| 4.   | MATERIAL E MÉTODOS .....                                                            | 20 |
| 4.1. | Localização do experimento .....                                                    | 20 |
| 4.2. | Preparo da área e material vegetal .....                                            | 20 |
| 4.3. | Delineamento experimental e tratamentos.....                                        | 21 |
| 4.4. | Avaliações agronômicas .....                                                        | 23 |
| 4.5. | Análise estatística .....                                                           | 24 |
| 5.   | RESULTADOS E DISCUSSÕES .....                                                       | 24 |
| 6.   | CONCLUSÕES .....                                                                    | 37 |
|      | REFERÊNCIAS.....                                                                    | 38 |
|      | APÊNDICE A.....                                                                     | 43 |

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é amplamente cultivado por agricultores familiares em todas as regiões do país e destaca-se como uma das principais fontes de proteína vegetal na alimentação dos brasileiros e base para a segurança alimentar da população (Paula *et al.*, 2022).

Em 2024, a produção nacional do grão no Brasil foi de 3,1 milhões de toneladas. O estado do Paraná lidera a produção com 686 mil toneladas, representando 24% do total nacional, com destaque para o município de Irati. Em seguida, Minas Gerais aparece como o segundo maior produtor, com 579 mil toneladas, responsável por 20% da produção brasileira, tendo Paracatu como sua principal cidade produtora (IBGE, 2024).

O feijão-rajado destaca-se como uma variedade de alto valor agrônômico e nutricional, caracterizada por grãos de coloração bege com estrias avermelhadas, sabor suave e textura macia, atributos que o tornam atrativo tanto para o mercado interno quanto externo. Além de ser fonte de fibras, minerais e vitaminas do complexo B, possui bom desempenho culinário, com tempo de cozimento reduzido e excelente aparência após o preparo (Brito *et al.*, 2024).

A **cultivar** BRS Radiante, pertencente ao grupo comercial rajado, apresenta porte ereto, ciclo de aproximadamente 80 dias, grãos de elevada qualidade tecnológica e culinária, além de resistência ao mosaico-comum e ao oídio, sendo moderadamente resistente à antracnose e à ferrugem. Em ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), apresentou produtividade média superior à das cultivares testemunhas, demonstrando ampla adaptação às principais regiões produtoras de feijão do Brasil, incluindo Minas Gerais (Costa *et al.*, 2023; Embrapa, 2023).

Apesar da relevância econômica, a produção de feijão enfrenta desafios relacionados à variabilidade climática, pragas, doenças e manejo inadequado dos nutrientes do solo. Nesse contexto, a busca por tecnologias que aumentem a produtividade e a sustentabilidade da cultura é fundamental para garantir o abastecimento e a rentabilidade dos produtores (Coêlho, 2024).

Nos solos tropicais, como os brasileiros, o fósforo (P) apresenta baixa disponibilidade devido à sua adsorção pelos óxidos de ferro e alumínio, processo conhecido como fixação do

fósforo, o que limita sua absorção pelas plantas (Oliveira *et al.*, 2021). Na planta, esse nutriente é essencial para processos vitais como a fotossíntese, o crescimento radicular e a síntese de ácidos nucleicos, impactando diretamente no desenvolvimento e produtividade das culturas (Costa *et al.*, 2024).

O fósforo (P) desempenha um papel vital no desenvolvimento do feijoeiro, contribuindo para diversos processos fisiológicos e bioquímicos da planta. Ele auxilia diretamente para a formação e expansão do sistema radicular, facilitando a absorção de água e nutrientes, além de atuar na fotossíntese, na transferência de energia e na síntese de ácidos nucleicos (Carvalho; Silveira, 2023).

A cultura do feijoeiro é especialmente sensível à deficiência desse nutriente, o que pode comprometer seu crescimento e produtividade. A eficiência na utilização do fósforo pode ser observada pela capacidade da planta em acumular massa seca na parte aérea, característica fortemente relacionada ao conteúdo total de fósforo absorvido (Benato *et al.*, 2025).

Nos últimos anos, o uso de reguladores de crescimento tem se destacado como uma estratégia eficaz para impulsionar o desenvolvimento e a produtividade do feijoeiro. Esses compostos, naturais ou sintéticos, atuam em baixas concentrações e influenciam diretamente diversos processos fisiológicos das plantas, como a germinação, o crescimento vegetativo, o florescimento e a formação dos vagens (Marques; Correa, 2025).

No cultivo do feijoeiro, que possui ciclo curto e sistema radicular superficial, os reguladores auxiliam na superação de estresses bióticos e abióticos, promovendo maior vigor e resistência das plantas. Além disso, seu uso pode resultar em grãos mais uniformes e de melhor qualidade, agregando valor comercial à produção (Resende, 2022).

Considerando a importância do feijão na alimentação e os desafios agrônômicos relacionados à sua produtividade, especialmente no que se refere à nutrição fosfatada e ao

uso de reguladores de crescimento, torna-se essencial investigar estratégias que otimizem o desenvolvimento e o rendimento da cultura em diferentes condições de cultivo.

## 2. OBJETIVOS

Avaliar o padrão de crescimento e a produtividade do feijoeiro-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.) em resposta a fontes de fósforo e doses do regulador de crescimento Ethrel<sup>®</sup>, em Monte Carmelo, Minas Gerais.

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1. O feijão-rajado: características e importância agronômica

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) está profundamente enraizado na cultura alimentar brasileira, sendo parte essencial da identidade nacional e da segurança alimentar da população (Ferreira; Barigossi, 2021). Cultivado há milênios nas Américas, especialmente nas regiões andina e da América Central, o feijoeiro — que inclui variedades como carioca, preto, jalo e rajado — foi incorporado à dieta dos povos originários e, posteriormente, à culinária brasileira. Hoje, está presente em pratos tradicionais como feijoada, tutu de feijão, baião de dois e feijão tropeiro, consolidando-se como símbolo de diversidade e resistência alimentar (Sustentarea, 2025).

Entre as cultivares mais valorizadas, destaca-se o feijão-rajado, cujos grãos bege com estrias avermelhadas combinam sabor suave, textura macia e tempo de cozimento reduzido (Ibrafe, 2023). Essa variedade apresenta excelente aceitação tanto no mercado interno quanto externo, devido ao seu valor nutricional, praticidade no preparo e aparência atrativa. Ademais, possui boa adaptabilidade às condições de cultivo no Brasil, incluindo cultivares modernas com ciclo precoce, resistência a doenças e arquitetura favorável à mecanização, o que contribui para maior estabilidade produtiva (Costa *et al.*, 2023).

Nos últimos anos, o feijão-rajado tem ganhado destaque no mercado de pulses, impulsionado pelo aumento da demanda por alimentos mais saudáveis e menos processados. De acordo com o Instituto Brasileiro do Feijão e Pulses – Ibrafe (2025), o setor vive uma

“espiral positiva”, em que o consumo consciente, aliado à atuação de influenciadores digitais e ações institucionais, tem favorecido a valorização das leguminosas.

Entre essas ações, destaca-se o Pulse Day, um dos principais eventos técnicos do setor, promovido pelo Ibrafe em diferentes regiões do país. O evento reúne produtores, pesquisadores e especialistas para debater inovações em tecnologia, novas cultivares, tendências de mercado e práticas sustentáveis, criando uma ponte entre ciência e campo. Além de oferecer palestras e atualizações técnicas, o Pulse Day busca incentivar o cultivo de colheitas especiais e o uso de variedades mais adaptadas às exigências do mercado nacional e internacional (Ibrafe, 2024).

Embora o setor de feijões apresente crescimento e maior valorização no mercado, a produção enfrenta sérios desafios causados pelas mudanças climáticas. O aumento da temperatura e a redução da disponibilidade hídrica tendem a diminuir a produtividade das lavouras, especialmente em regiões-chave do país. Ao mesmo tempo, a demanda pelo produto segue em alta, exigindo esforços para desenvolver cultivares mais resistentes e adotar práticas agrícolas que garantam a sustentabilidade e a segurança alimentar a longo prazo (Peixoto, 2023).

Em paralelo, o setor brasileiro de pulses alcançou um marco histórico: entre maio de 2024 e abril de 2025, o país exportou mais de 400 mil toneladas de feijões, movimentando mais de R\$ 2 bilhões. Esse avanço é resultado de investimentos em inovação, sustentabilidade e articulação institucional entre produtores, pesquisadores e órgãos governamentais. O reconhecimento internacional, como o prêmio de Sustentabilidade concedido pelo Global Pulse Confederation, evidencia o potencial do Brasil nesse mercado. No entanto, gargalos logísticos, como infraestrutura deficiente, burocracia e limitações nos portos, ainda representam entraves à competitividade global (Lüders, 2025).

Nesse cenário de expansão e transformação, variedades como o feijão-rajado encontram espaço promissor, unindo valor de mercado, qualidade nutricional e tradição cultural. O fortalecimento da cadeia produtiva e exportadora de pulses contribui diretamente para a valorização dessa leguminosa, consolidando seu papel tanto na alimentação nacional quanto como produto estratégico no agronegócio brasileiro.

Diante do exposto, observa-se que o feijoeiro, especialmente o feijão-rajado, apresenta relevância alimentar, econômica, social e científica em diferentes escalas, desde o contexto

mundial até a realidade regional de Minas Gerais e do Triângulo Mineiro. Além de contribuir para a segurança alimentar, a cultura representa importante fonte de renda para produtores rurais e possui papel estratégico na diversificação dos sistemas agrícolas. Nesse sentido, estudos voltados ao manejo nutricional e fisiológico do feijoeiro, envolvendo fontes de fósforo e reguladores de crescimento, são essenciais para ampliar o conhecimento científico, subsidiar recomendações técnicas mais eficientes e contribuir para a sustentabilidade e a competitividade da cadeia produtiva do feijão.

### **3.2. O fósforo no desenvolvimento do feijoeiro: funções e manejo**

O fósforo (P) é um macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, participando de processos fisiológicos e bioquímicos fundamentais, como transferência de energia via ATP e a constituição de estruturas celulares e genéticas (Costa *et al.*, 2024). Sua disponibilidade no solo, contudo, é limitada, principalmente em solos tropicais intemperizados como os brasileiros, onde ocorre intensa fixação do fósforo por óxidos de ferro e alumínio. Essa característica restringe sua absorção pelas raízes e exige práticas de manejo adequadas para garantir sua disponibilidade às plantas cultivadas (Vieira *et al.*, 2021).

No cultivo do feijoeiro, o fósforo é o nutriente ao qual a cultura mais responde em termos de adubação, apesar de ser absorvido em menores quantidades quando comparado a outros nutrientes, como nitrogênio, potássio e cálcio. Para a produção de uma tonelada de grãos de feijão, o feijoeiro extrai aproximadamente 13 kg de fósforo (P) do solo, evidenciando a importância do manejo adequado da adubação fosfatada para o desenvolvimento da cultura e a obtenção de elevados rendimentos. Essa elevada resposta se deve à baixa eficiência do feijoeiro na absorção do elemento, o que justifica a necessidade de aplicação de doses relativamente altas, que variam entre 20 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dependendo do teor disponível no solo e da expectativa de produtividade. Mesmo em solos com níveis adequados de fósforo para culturas como soja e milho, a adubação fosfatada no feijoeiro pode resultar em aumentos significativos na produtividade (Carvalho; Silveira, 2023).

Fatores edáficos como acidez elevada, presença de alumínio tóxico, baixa disponibilidade de cálcio, compactação do solo, deficiência hídrica e ataque de patógenos podem limitar o crescimento radicular e, consequentemente, a absorção de fósforo (Costa *et*

*al.*, 2024). Por isso, a aplicação de fertilizantes fosfatados solúveis, como superfosfato simples (SSP), superfosfato triplo (TSP), fosfato monoamônico (MAP) e fosfato diamônico (DAP) é recomendada, principalmente quando associada ao uso de fontes que contenham cálcio, especialmente em solos com baixos teores desse nutriente (Barbosa, 2020). O manejo adequado também envolve a aplicação localizada no sulco de plantio, a correção do pH do solo (ideal entre 5,5 e 6,5) e o uso de microrganismos promotores da solubilização de fósforo, como rizóbios e fungos micorrízicos (Lovatto, 2025; Veloso *et al.*, 2020; Araújo *et al.*, 2024).

A deficiência de fósforo no feijoeiro manifesta-se visualmente por meio de sintomas que se iniciam nas folhas mais velhas, com clorose internerval e pequenas pontuações escurecidas. As plantas apresentam caules mais curtos e finos, crescimento retardado, coloração arroxeada nas bordas foliares e sistema radicular pouco desenvolvido. Esses sinais refletem a limitação metabólica da planta e resultam em queda na produção e na qualidade dos grãos (BioSul Fertilizantes, 2021).

Estudos experimentais reforçam a importância da adubação fosfatada. Em um trabalho conduzido com a cultivar IAC Carioca, foram avaliadas seis doses de  $P_2O_5$  (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha<sup>-1</sup>) em um Latossolo Vermelho com baixo teor de fósforo (6 mg dm<sup>-3</sup>). Os resultados mostraram que a aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$  aumentou significativamente o número de vagens e de sementes por planta. No entanto, não foram observadas alterações expressivas na qualidade fisiológica das sementes, avaliada por meio de testes de germinação, vigor, condutividade elétrica e emergência de plântulas. Esses dados indicam que, embora o fósforo não afete diretamente a qualidade fisiológica das sementes, ele exerce influência direta sobre a formação de estruturas produtivas da planta, com impacto positivo na produtividade final da lavoura (Zucarelli *et al.*, 2006).

### **3.3. Uso de reguladores de crescimento no feijoeiro: aplicações e efeitos fisiológicos**

Os reguladores de crescimento são substâncias químicas amplamente utilizadas na agricultura com o objetivo de modificar e controlar o desenvolvimento das plantas, promovendo ganhos em produtividade, qualidade dos vagens e uniformidade das lavouras. Esses compostos podem ser aplicados de diferentes formas, como pulverização foliar, aplicação no solo ou imersão de sementes e mudas, sendo que seus efeitos variam conforme

o tipo de substância utilizada, a dose e o estágio de desenvolvimento da planta. Quando utilizados de forma técnica e criteriosa, os reguladores de crescimento podem representar uma ferramenta importante para o aumento da eficiência agrônômica (Leite; Couto; Petri, 2013).

Existem dois principais tipos de reguladores de crescimento: os naturais e os sintéticos. Os primeiros são produzidos pelas próprias plantas e incluem hormônios como as auxinas, citocininas e giberelinas, que regulam processos fisiológicos essenciais, como germinação, alongamento celular, floração e frutificação. Já os reguladores sintéticos são desenvolvidos em laboratório com o objetivo de mimetizar ou inibir a ação desses hormônios naturais. Exemplos comuns incluem o etefom, precursor do etileno, e o ácido abscísico sintético (Silva *et al.*, 2020). Apesar de sua eficácia, a aplicação inadequada desses produtos pode provocar efeitos adversos, como fitotoxicidade, redução no crescimento ou atraso na floração, tornando indispensável o uso conforme recomendações técnicas, respeitando as condições ambientais e o estado fisiológico da planta (Agro Bayer, 2025).

Entre os reguladores comerciais, destaca-se o Ethrel® 720, cujo princípio ativo é o etefom (720 g L<sup>-1</sup>), um precursor do etileno responsável por processos como maturação e senescência. Registrado no MAPA, o produto é classificado como pouco tóxico (classe 4) e perigoso ao meio ambiente (classe III), além de ser corrosivo, exigindo cuidados no manuseio. Recomendado para diversas culturas, promove efeitos como uniformização da maturação e aumento de rendimento, desde que aplicado sob condições climáticas específicas. Embora não registrado para feijão, o etefom é estudado em leguminosas devido ao seu potencial fisiológico (Agro Bayer, 2025).

Estudos específicos com reguladores de crescimento aplicados ao feijoeiro têm demonstrado resultados promissores. Em experimento conduzido na Fazenda Água Limpa, no município de Guapé, Minas Gerais, foi avaliado o efeito dos reguladores de crescimento Stimulate®, composto por cinetina, ácido giberélico (GA<sub>3</sub>) e ácido indolbutírico (AIB), e Matrix G®, formulado à base de substâncias húmicas associadas a auxinas, citocininas e giberelinas, sobre a cultivar de feijão do grupo Carioca. Os resultados mostraram que ambos os reguladores promoveram melhorias no crescimento das plantas em relação ao grupo controle, especialmente nas variáveis de massa fresca da parte aérea, altura das plantas e comprimento de raízes. A dose mais eficaz observada foi de 0,650 L ha<sup>-1</sup>. Embora também tenham sido observadas tendências de melhora no diâmetro do caule e no número de vagens,

essas variáveis não apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos (Marques; Corrêa, 2025).

Outro estudo, realizado no município de Paracatu, Minas Gerais, avaliou o efeito do regulador de crescimento Maxcel®, formulado à base de benziladenina, uma citocinina, na cultivar de feijão BRSMG Realce. O produto foi aplicado no estágio fenológico R5 (pré-floração), com o objetivo de estimular a formação de estruturas reprodutivas. Os resultados demonstraram resposta positiva diretamente proporcional à dose aplicada, sendo 200 mL ha<sup>-1</sup> a mais eficiente. Nessa dose, verificou-se aumento no número de ramos laterais e de botões florais, efeito atribuído à ação da benziladenina na promoção da divisão celular e na ativação das gemas axilares, favorecendo a ramificação e a floração (Silva; Duarte, 2020).

Embora a maior parte das pesquisas com reguladores de crescimento em feijoeiro tenha sido conduzida com produtos à base de citocininas, giberelinas e auxinas, como Maxcel® e Stimulate®, ainda são escassos os estudos envolvendo reguladores que atuam por meio da liberação de etileno, como o Ethrel®. O etileno desempenha funções distintas desses outros fitormônios, estando relacionado à regulação da elongação celular, da arquitetura da planta, da senescência e do desenvolvimento reprodutivo. Entretanto, seus efeitos dependem da dose, do estágio fenológico de aplicação e das condições de cultivo, o que justifica a realização de estudos para compreender sua influência sobre o crescimento e a produtividade do feijoeiro.

Dessa forma, o uso de reguladores de crescimento no cultivo do feijoeiro representa uma estratégia com potencial para modificar a arquitetura das plantas e influenciar características relacionadas ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. Entre esses reguladores, o etileno destaca-se por atuar na regulação da elongação celular, da emissão de ramos, da senescência e do desenvolvimento reprodutivo, podendo alterar a distribuição de fotoassimilados e o equilíbrio entre crescimento vegetativo e formação de estruturas produtivas. Esses efeitos podem ser favoráveis ao manejo da cultura quando a dose e o estágio fenológico de aplicação são adequadamente definidos. Entretanto, as informações sobre o uso de compostos liberadores de etileno, como o Ethrel®, em feijoeiro ainda são limitadas, justificando a realização de estudos que avaliem sua influência sobre o crescimento e a produtividade da cultura.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Localização do Experimento

O experimento foi conduzido no Jardim Experimental de Botânica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Monte Carmelo, Unidade Araras, localizado às margens da rodovia LMG-746, km 1, no município de Monte Carmelo, Minas Gerais.

O Jardim Experimental de Botânica é vinculado ao Laboratório de Botânica (LABOT) do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) e integra a estrutura do Campo Demonstrativo e Experimental (CADEX). O CADEX possui aproximadamente 10 hectares destinados ao desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão, oferecendo infraestrutura para experimentos agrônômicos, demonstrações técnicas, aulas práticas e realização de dias de campo.

O município de Monte Carmelo está localizado nas coordenadas geográficas de 18°44'05" S e 47°29'47" W, a uma altitude média de 890 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, caracterizado como tropical sazonal, com verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média anual é de aproximadamente 21,2 °C e a precipitação média anual é de 1.444 mm (Alvares *et al.*, 2013).

A semeadura foi realizada em 31 de agosto de 2024, utilizando a cultivar BRS Radiante, pertencente ao grupo comercial rajado (*Phaseolus vulgaris* L.). A cultivar apresenta hábito de crescimento determinado (tipo I), porte ereto, ciclo de aproximadamente 80 dias, grãos grandes de coloração bege com estrias roxas, boa resistência ao acamamento e excelente qualidade culinária. Além disso, é resistente ao mosaico-comum e ao oídio, moderadamente resistente à antracnose e à ferrugem e moderadamente suscetível à mancha-angular (Embrapa, 2002; Embrapa, 2023). A emergência das plântulas ocorreu em 3 de setembro de 2024, correspondente a três dias após a semeadura (DAS). A partir da emergência, foram realizadas as práticas de manejo e as avaliações experimentais de acordo com o delineamento proposto.

### 4.2. Preparo da área e material vegetal

Antes da implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo na camada de 0–20 cm para caracterização química e física da área experimental. O solo da área experimental foi

classificado como Latossolo Vermelho de textura argilosa, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018). A análise granulométrica apresentou teores de 18% de areia, 22% de silte e 60% de argila. Com base nos resultados da análise química, foram definidas as necessidades de correção da acidez e de adubação da cultura, seguindo as recomendações para o cultivo do feijoeiro.

A adubação foi realizada conforme a recomendação para a cultura do feijoeiro, sendo aplicados 80kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de 60. O nitrogênio foi aplicado (na semeadura/em cobertura aos 20 DAS), enquanto o potássio foi aplicado na semeadura, conforme o manejo adotado

A área experimental foi preparada para cultivo em sistema de plantio convencional. Para o fornecimento de água às plantas, foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento superficial, composto por tubos gotejadores autocompensantes com vazão de 1,5 L h<sup>-1</sup> e espaçamento de 0,50 m entre emissores, instalados nas entrelinhas de cultivo.

O material vegetal utilizado foi o feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRS Radiante, pertencente ao grupo comercial rajado e amplamente adaptado às condições edafoclimáticas do Cerrado brasileiro.

A semeadura foi realizada manualmente, em sulcos com aproximadamente 5 cm de profundidade, adotando-se espaçamento de 0,50 m entre linhas e densidade de 14 sementes por metro linear, correspondente a 280.000 sementes ha<sup>-1</sup>. As sementes apresentavam 95% de germinação, conforme informação constante no rótulo do lote/análise fornecida pelo fabricante. Antes da semeadura, foi realizado teste de germinação/emergência, no qual se obteve 93%, valor utilizado para definir a densidade de semeadura e assegurar a população desejada.

#### **4.3. Delineamento experimental e tratamentos**

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com três blocos, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas principais foram constituídas por três fontes de fósforo: Superfosfato Triplo (SFT), contendo 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, caracterizado pela elevada solubilidade e rápida disponibilidade de fósforo; Fertilizante Organomineral Peletizado, contendo 28% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, formulado com matriz orgânica que favorece a liberação gradual do nutriente e pode reduzir perdas por adsorção no solo; e Top Phos® 280 HP, contendo 28,0% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, fertilizante fosfatado de alta

eficiência desenvolvido para aumentar a disponibilidade de fósforo às plantas por meio da redução de sua fixação no solo.

Para todas as fontes foi utilizada a dose equivalente a  $135 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , definida com base na análise química do solo e nas recomendações de adubação fosfatada para a cultura do feijoeiro propostas na 5ª Aproximação – Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez V., 1999), considerando o teor inicial de fósforo do solo e a expectativa de produtividade da área experimental. O fertilizante fosfatado foi aplicado no sulco de semeadura, simultaneamente à implantação da cultura.

As subparcelas foram constituídas por quatro tratamentos correspondentes às doses do regulador de crescimento Ethrel® 720 SL: 0 (controle), 0,300, 0,450 e 0,600 L  $\text{ha}^{-1}$ . As doses foram estabelecidas para possibilitar a avaliação da resposta do feijoeiro a diferentes níveis de aplicação do regulador, permitindo a obtenção de uma curva dose–resposta. O produto foi aplicado por pulverização foliar em três estádios fenológicos da cultura: V3 (primeiro trifólio completamente expandido), V4 (terceiro trifólio completamente expandido) e R5 (pré-floração, caracterizada pelo aparecimento dos primeiros botões florais). Esses estádios foram selecionados por representarem fases importantes do desenvolvimento vegetativo e da transição para a fase reprodutiva, nas quais o regulador de crescimento pode influenciar a arquitetura das plantas e os componentes de rendimento. A dose total prevista para cada tratamento foi parcelada igualmente entre as três aplicações, de modo que cada estágio recebeu um terço da dose correspondente.

A definição das doses e dos estádios fenológicos de aplicação do Ethrel® baseou-se em estudos experimentais envolvendo o uso de reguladores de crescimento em culturas anuais, visando avaliar seus efeitos sobre o crescimento vegetativo, o desenvolvimento reprodutivo e a produtividade do feijoeiro.

Cada parcela experimental foi constituída por \_\_\_\_ linhas de \_\_\_\_ m de comprimento, espaçadas em 0,50 m, totalizando uma área de \_\_\_\_  $\text{m}^2$ , sendo considerada como área útil \_\_\_\_  $\text{m}^2$ , mediante a exclusão das linhas e plantas de bordadura. Em cada parcela útil foram avaliadas \_\_\_\_ plantas, selecionadas aleatoriamente para as determinações biométricas e produtivas.

Todos os demais tratos culturais, incluindo adubação complementar, manejo fitossanitário, controle de plantas daninhas e irrigação, quando necessária, foram realizados de forma uniforme em todas as parcelas experimentais, seguindo as recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro, de modo a garantir que as diferenças observadas fossem atribuídas exclusivamente aos

tratamentos avaliados.

#### 4.4. Avaliações Agronômicas

As avaliações agronômicas foram realizadas no estágio fenológico R9, correspondente à maturação fisiológica e ao ponto de colheita do feijoeiro. Para cada parcela útil, foram avaliadas \_\_\_\_ plantas, selecionadas aleatoriamente.

A altura de plantas (cm) foi determinada utilizando fita métrica graduada, medindo-se a distância entre a superfície do solo e o ápice da haste principal de cada planta.

A altura de inserção da primeira vagem (cm) foi obtida medindo-se a distância entre a superfície do solo e a inserção da primeira vagem na haste principal, utilizando fita métrica graduada.

O número de vagens por planta foi determinado por meio da contagem manual de todas as vagens desenvolvidas presentes em cada planta avaliada.

O número de grãos por vagem foi obtido pela abertura manual das vagens colhidas nas plantas amostradas, realizando-se a contagem do número de grãos de cada vagem e calculando-se, posteriormente, a média por planta.

A produtividade de grãos ( $\text{sc ha}^{-1}$ ) foi determinada por meio da colheita manual das plantas da área útil de cada parcela. Após a trilha e limpeza, os grãos foram pesados em balança de precisão, tendo sua massa corrigida para 13% de umidade e, posteriormente, convertida para produtividade, sendo os resultados expressos em sacas de 60 kg por hectare ( $\text{sc ha}^{-1}$ ).

A produtividade foi estimada a partir da colheita de quatro plantas representativas de cada subparcela, coletadas no estágio fenológico R9.

Inicialmente, foi realizada a correção da massa dos grãos para umidade padrão de 13%, utilizando-se a equação:

$$Pc = \frac{(100 - U) \times Pa}{100 - 13}$$

Onde:

- $Pc$  é o peso corrigido da amostra (g ou kg);
- $U$  é o teor de umidade atual da amostra (%);
- $Pa$  é o peso inicial da amostra (g ou kg);

- 13 é o teor de umidade de referência padrão (%).

Posteriormente, a produtividade foi estimada considerando a população de 280.000 plantas  $ha^{-1}$  por meio da seguinte expressão:

$$Produtividade (sacas ha^{-1}) = \frac{\left[ \left( \frac{Pc}{NP} \right) \times População ha^{-1} \right]}{60}$$

em que:

- $NP$  = número de plantas colhidas;
- $Pc$  = peso corrigido dos grãos;
- $População ha^{-1} = 280.000$  plantas.
- Os resultados foram expressos em sacas de 60 kg por hectare.

#### 4.5. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, adotando-se nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ). Quando constatado efeito significativo para as fontes de fósforo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as doses do regulador de crescimento Ethrel<sup>®</sup>, por se tratar de um fator quantitativo, realizou-se análise de regressão, sendo ajustados modelos polinomiais e selecionado aquele que apresentou coeficientes significativos, maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e coerência biológica.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team), e os resultados foram apresentados por meio de tabelas e gráficos.

Previamente à interpretação dos resultados, foram verificados os pressupostos da análise de variância quanto à normalidade dos resíduos, pelo teste de Shapiro-Wilk, à homogeneidade das variâncias, pelo teste de O'Neill e Mathews, e à aditividade dos blocos, pelo teste de Tukey. Os resultados desses testes são apresentados no Apêndice A.

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de variância demonstrou que as fontes de adubo fosfatados não influenciaram significativamente a altura das plantas de feijão-comum (Tabela 1), assim como não foi observada interação significativa entre as fontes de adubo e as doses de Ethrel<sup>®</sup>. Entretanto, as doses do

regulador de crescimento apresentaram efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ), evidenciando que a altura das plantas foi influenciada pela aplicação de Ethrel®. Os coeficientes de variação obtidos (17,08% e 16,55%) indicam adequada precisão experimental.

**Tabela 1** - Resumo da análise de variância para altura de plantas (cm) de feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de fontes de adubo e doses de aplicação de Ethrel®

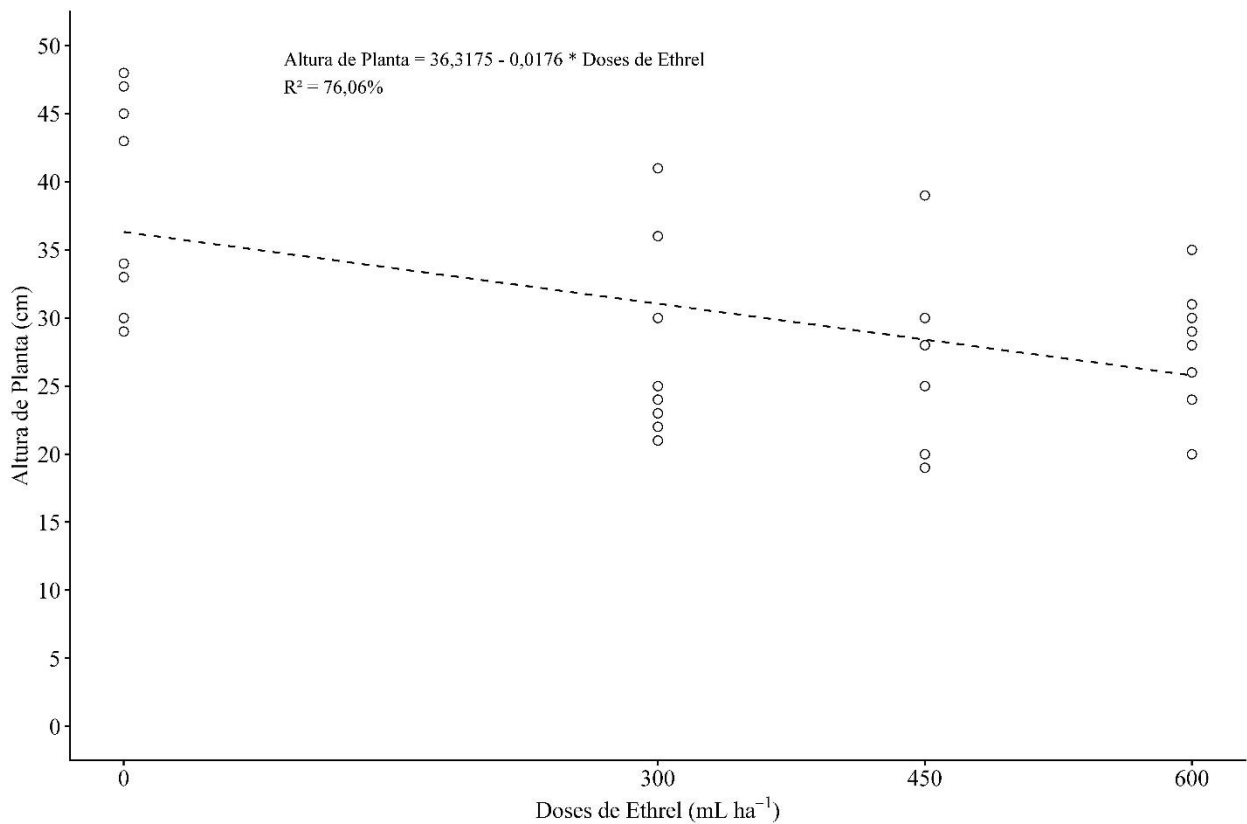
| FV                                | GL | QM                    |
|-----------------------------------|----|-----------------------|
| Fontes de Adubo                   | 2  | 191,361 <sup>Ns</sup> |
| Bloco                             | 2  | 35,528 <sup>Ns</sup>  |
| Resíduo 1                         | 4  | 26,944                |
| Doses de Ethrel                   | 3  | 239,593*              |
| Fontes de Adubo x Doses de Ethrel | 6  | 43,176 <sup>Ns</sup>  |
| Resíduo 2                         | 18 | 25,287                |
| Total                             |    | 35                    |
| C.V 1 (%)                         |    | 17,08                 |
| C.V 2 (%)                         |    | 16,55                 |

Ns: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

\*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

Em função da significância observada para as doses de Ethrel®, foi ajustado modelo de regressão linear para a variável altura de plantas (Figura 1). Observou-se padrão de resposta linear decrescente, descrito pela equação  $y = 36,3175 - 0,0176x$ , com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 76,06%. Os resultados indicam redução aproximada de 1,76 cm na altura das plantas para cada incremento de 100 mL ha<sup>-1</sup> de Ethrel® aplicado. Essa resposta demonstra que o aumento das doses do regulador promoveu redução do crescimento vegetativo das plantas, provavelmente em decorrência da ação do etileno sobre o alongamento celular, exacerbando a ação da auxina com efeito de inibição por exceder o limiar ótimo de resposta ao hormônio de crescimento.



**Figura 1** - Altura de plantas de feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de doses do regulador de crescimento Ethrel®.

Para a altura de inserção do primeiro fruto (Tabela 2), verificou-se ausência de efeito significativo das fontes de fertilizantes fosfatados e da interação entre os fatores avaliados. Por outro lado, as doses de Ethrel® influenciaram significativamente essa característica ( $p \leq 0,05$ ), indicando que a aplicação do regulador alterou a posição das estruturas reprodutivas na planta. Os coeficientes de variação observados foram de 36,36% e 23,54%, valores compatíveis com características que apresentam elevada variabilidade em condições de campo.

**Tabela 2** - Resumo da análise de variância para altura de inserção do primeiro fruto (cm) de feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de fontes de adubo e doses de aplicação de Ethrel®

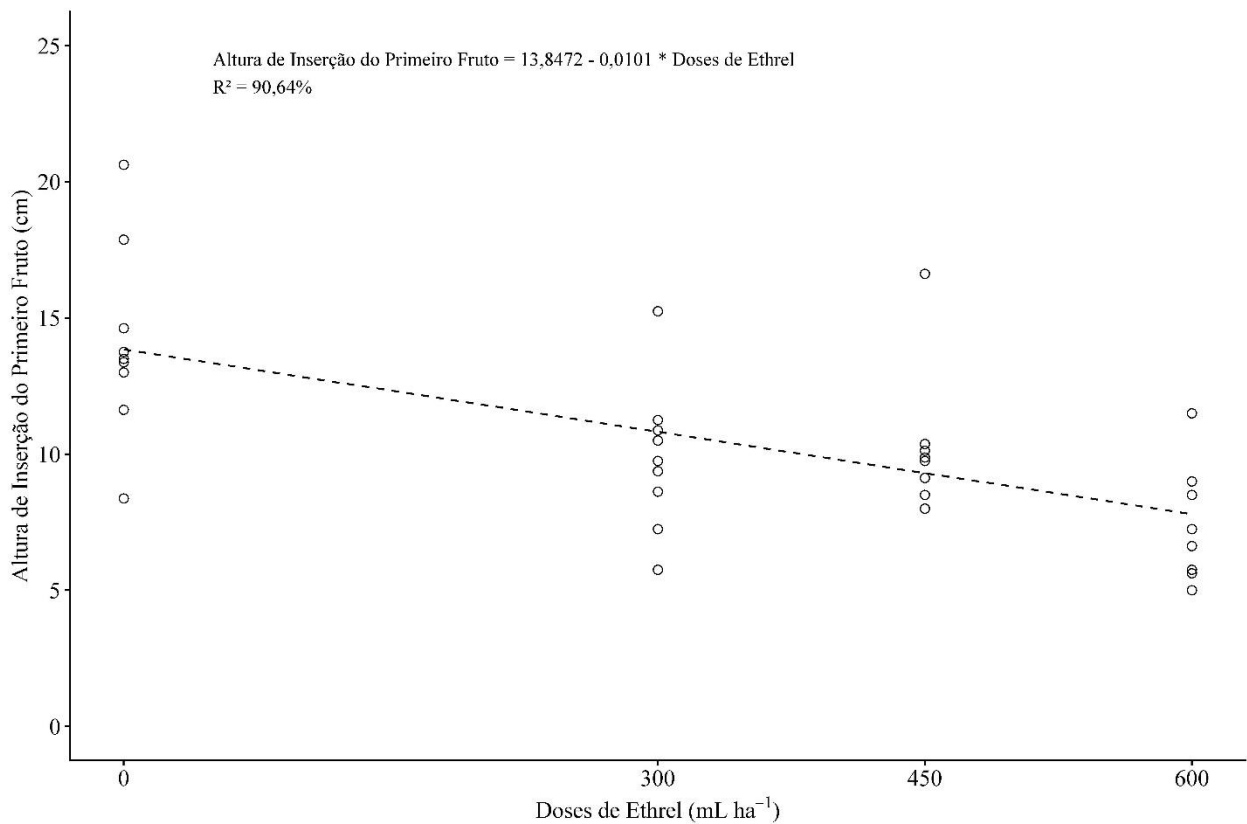
| FV                                | GL | QM                   |
|-----------------------------------|----|----------------------|
| Fontes de Adubo                   | 2  | 6,674 <sup>Ns</sup>  |
| Bloco                             | 2  | 19,232 <sup>Ns</sup> |
| Resíduo 1                         | 4  | 14,413               |
| Doses de Ethrel                   | 3  | 66,373*              |
| Fontes de Adubo x Doses de Ethrel | 6  | 3,708 <sup>Ns</sup>  |
| Resíduo 2                         | 18 | 6,042                |
| Total                             |    | 35                   |
| C.V 1 (%)                         |    | 36,36                |
| C.V 2 (%)                         |    | 23,54                |

Ns: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

\*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

A regressão linear ajustada demonstrou redução da altura de inserção do primeiro fruto em função do aumento das doses de Ethrel® (Figura 2), sendo descrita pela equação  $y = 13,8472 - 0,0101x$ , com coeficiente de determinação de 90,64%. O incremento de 100 mL ha<sup>-1</sup> do regulador promoveu redução estimada de 1,01 cm na altura de inserção do primeiro fruto. Tal resultado evidencia que o efeito redutor do Ethrel® sobre o crescimento vegetativo também refletiu na disposição das vagens na planta, podendo influenciar aspectos relacionados à colheita e ao potencial produtivo da cultura.



**Figura 2** - Altura de inserção do primeiro fruto de feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.) em função das doses do regulador de crescimento Ethrel®.

A análise de variância demonstrou que as fontes de fertilizantes fosfatados e a interação entre fontes de adubo e doses de Ethrel® não exerceram influência significativa sobre o número de vagens desenvolvidas por planta (Tabela 3). Entretanto, as doses do regulador apresentaram efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ), evidenciando que essa variável foi afetada pela aplicação de Ethrel®. Os coeficientes de variação foram de 44,93% e 31,84%, refletindo a elevada variabilidade natural dos componentes de produção do feijoeiro.

**Tabela 3** - Resumo da análise de variância para o número de vagens desenvolvidos de feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de fontes de adubo e doses de aplicação de Ethrel®

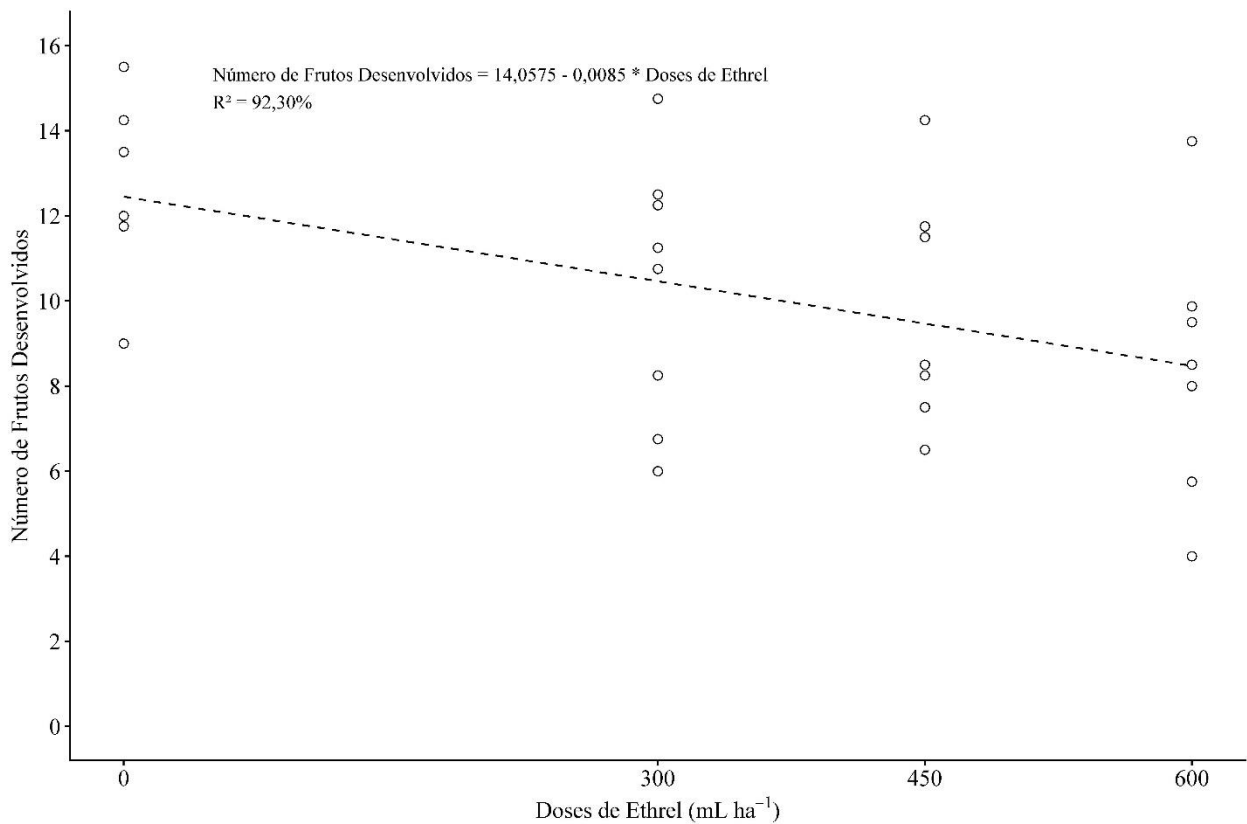
| FV                                | GL | QM                   |
|-----------------------------------|----|----------------------|
| Fontes de Adubo                   | 2  | 55,803 <sup>Ns</sup> |
| Bloco                             | 2  | 18,485 <sup>Ns</sup> |
| Resíduo 1                         | 4  | 25,351               |
| Doses de Ethrel                   | 3  | 45,715*              |
| Fontes de Adubo x Doses de Ethrel | 6  | 6,763 <sup>Ns</sup>  |
| Resíduo 2                         | 18 | 12,725               |
| Total                             |    | 35                   |
| C.V 1 (%)                         |    | 44,93                |
| C.V 2 (%)                         |    | 31,84                |

Ns: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

\*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação

A regressão ajustada revelou comportamento linear decrescente, descrito pela equação  $y = 14,0575 - 0,0085x$ , apresentando coeficiente de determinação de 92,30% (Figura 3). Verificou-se redução aproximada de 0,85 vagem por planta para cada incremento de 100 mL ha<sup>-1</sup> de Ethrel®. Esses resultados indicam que doses crescentes do regulador comprometeram o desenvolvimento reprodutivo da cultura, reduzindo o número de vagens produzidos por planta.



**Figura 3** - Número de vagens desenvolvidas por planta de feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.) em função das doses do regulador de crescimento Ethrel®.

Para o número de sementes por vagem, observou-se ausência de efeito significativo das fontes de fertilizantes fosfatados e da interação entre os fatores avaliados (Tabela 4). Em contrapartida, as doses de Ethrel® apresentaram efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ), demonstrando que a aplicação do regulador influenciou diretamente esse componente de rendimento. Os coeficientes de variação observados (12,86% e 10,05%) indicam elevada precisão experimental para essa variável.

**Tabela 4** - Resumo da análise de variância para o número de sementes por vagem de feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de fontes de adubo e doses de aplicação de Ethrel®

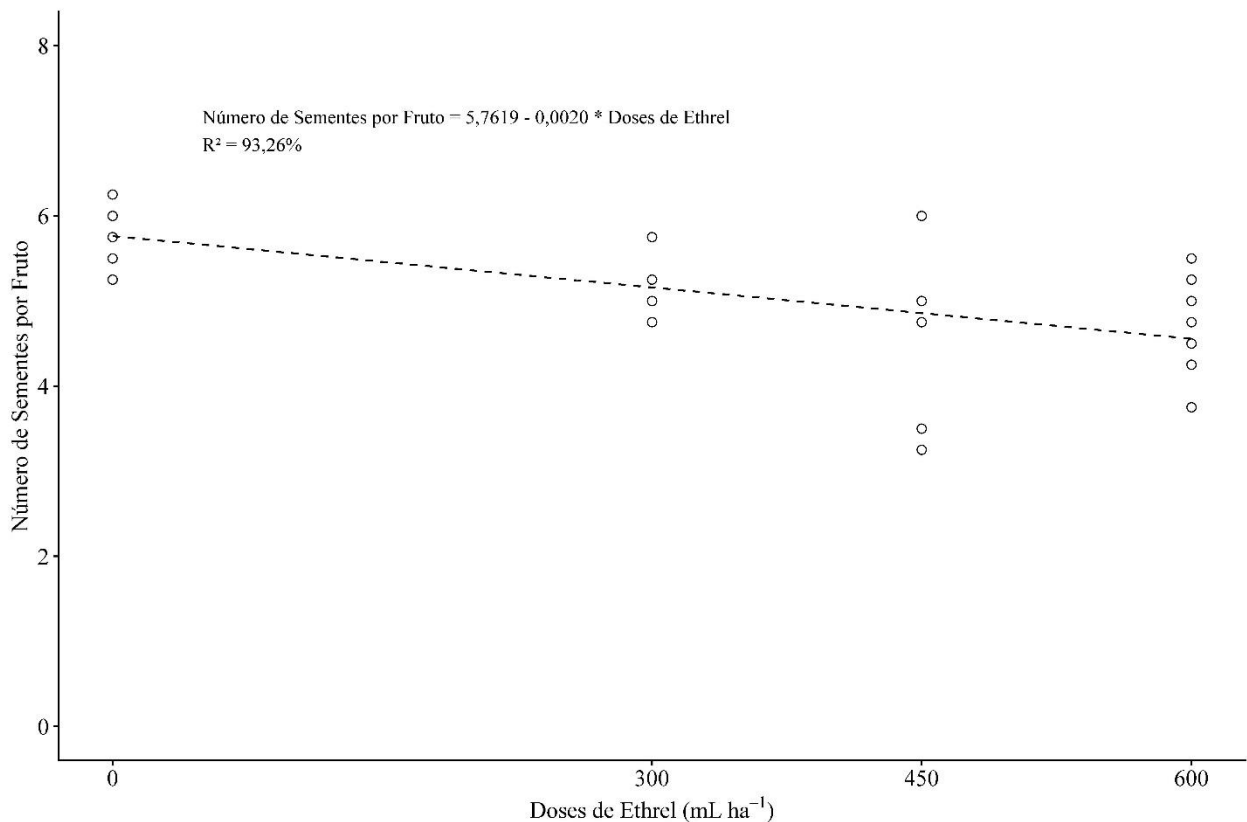
| FV                                | GL | QM                    |
|-----------------------------------|----|-----------------------|
| Fontes de Adubo                   | 2  | 0,32812 <sup>Ns</sup> |
| Bloco                             | 2  | 0,56771 <sup>Ns</sup> |
| Resíduo 1                         | 4  | 0,42708               |
| Doses de Ethrel                   | 3  | 2,56019*              |
| Fontes de Adubo x Doses de Ethrel | 6  | 0,39526 <sup>Ns</sup> |
| Resíduo 2                         | 18 | 0,26099               |
| Total                             |    | 35                    |
| C.V 1 (%)                         |    | 12,86                 |
| C.V 2 (%)                         |    | 10,05                 |

Ns: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

\*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação.

O modelo de regressão linear ajustado apresentou equação  $y = 5,7619 - 0,0020x$  e coeficiente de determinação de 93,26% (Figura 4), evidenciando excelente ajuste aos dados observados. O aumento das doses de Ethrel® promoveu redução de aproximadamente 0,2 semente por vagem para cada incremento de 100 mL ha<sup>-1</sup> aplicado. A redução desse componente de produção demonstra que os efeitos do regulador não se limitaram ao crescimento vegetativo, afetando também o desenvolvimento reprodutivo e o potencial de formação dos grãos. Esse padrão de resposta evidencia a eficiência do produto no controle do desenvolvimento da planta, mas requer cuidado especial em relação à dose aplicada e a fenofase adequada para aplicação.



**Figura 4** - Número de sementes por vagem de feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.) em função das doses do regulador de crescimento Ethrel®.

A produtividade de grãos apresentou resposta semelhante às demais variáveis avaliadas (Tabela 5). As diferentes fontes de adubação fosfatada e a interação entre as fontes de fósforo e as doses de Ethrel® não influenciaram significativamente a produtividade do feijoeiro ( $p > 0,05$ ). Em contrapartida, as doses de Ethrel® exerceram efeito significativo pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ), evidenciando que o regulador de crescimento foi o principal fator responsável pelas alterações observadas no rendimento da cultura. Os coeficientes de variação obtidos foram de 32,93% e 30,88%, valores considerados aceitáveis para experimentos de campo envolvendo produtividade, variável fortemente influenciada pelas condições ambientais e pela variabilidade inerente à cultura.

**Tabela 5** - Resumo da análise de variância para produtividade (sc ha<sup>-1</sup>) de feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.) em função de fontes de adubo e doses de aplicação de Ethrel<sup>®</sup>

| FV                                | GL | QM                   |
|-----------------------------------|----|----------------------|
| Fontes de Adubo                   | 2  | 315,33 <sup>Ns</sup> |
| Bloco                             | 2  | 84,94 <sup>Ns</sup>  |
| Resíduo 1                         | 4  | 78,36                |
| Doses de Ethrel                   | 3  | 2590,57*             |
| Fontes de Adubo x Doses de Ethrel | 6  | 53,97 <sup>Ns</sup>  |
| Resíduo 2                         | 18 | 68,91                |
| Total                             |    | 35                   |
| C.V 1 (%)                         |    | 32,93                |
| C.V 2 (%)                         |    | 30,88                |

Ns: Não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

\*: Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; QM: quadrado médio; CV: coeficiente de variação.

A análise de regressão demonstrou resposta linear decrescente da produtividade em função do aumento das doses de Ethrel<sup>®</sup>, sendo descrita pela equação  $Y = 48,9708 - 0,0655x$ , com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 97,67%, indicando excelente ajuste do modelo aos dados experimentais. A maior produtividade estimada foi de 48,97 sc ha<sup>-1</sup>, obtida na ausência da aplicação do regulador de crescimento, enquanto a menor produtividade estimada foi de 9,67 sc ha<sup>-1</sup>, correspondente à dose de 600 mL ha<sup>-1</sup>, representando redução aproximada de 80,3% no rendimento de grãos. Além disso, verificou-se decréscimo estimado de 6,55 sacas ha<sup>-1</sup> para cada incremento de 100 mL ha<sup>-1</sup> de Ethrel<sup>®</sup> aplicado.

A produtividade estimada na ausência da aplicação de Ethrel<sup>®</sup> encontra-se próxima da produtividade média obtida por produtores tecnificados de feijão no Brasil, enquanto as maiores doses resultaram em produtividades substancialmente inferiores às médias registradas para a cultura nas últimas safras (CONAB, 2025). Esses resultados indicam que o aumento da concentração do regulador comprometeu significativamente o potencial produtivo da cultivar BRS Radiante.

A redução da produtividade pode ser atribuída aos efeitos fisiológicos do etileno liberado pelo Ethrel<sup>®</sup>. O etileno atua na regulação do crescimento vegetal, promovendo redução da elongação celular, aceleração da senescência foliar, aumento da abscisão de flores e vagens e alterações na redistribuição de fotoassimilados, podendo reduzir a produção quando aplicado em doses elevadas ou em estádios fenológicos inadequados (Taiz *et al.*, 2017). Dessa forma, embora reguladores de crescimento possam modificar a arquitetura das plantas e, em determinadas

condições, favorecer características agronômicas desejáveis, seu efeito depende da dose, do estágio de desenvolvimento e da sensibilidade da cultura (Davies, 2010).

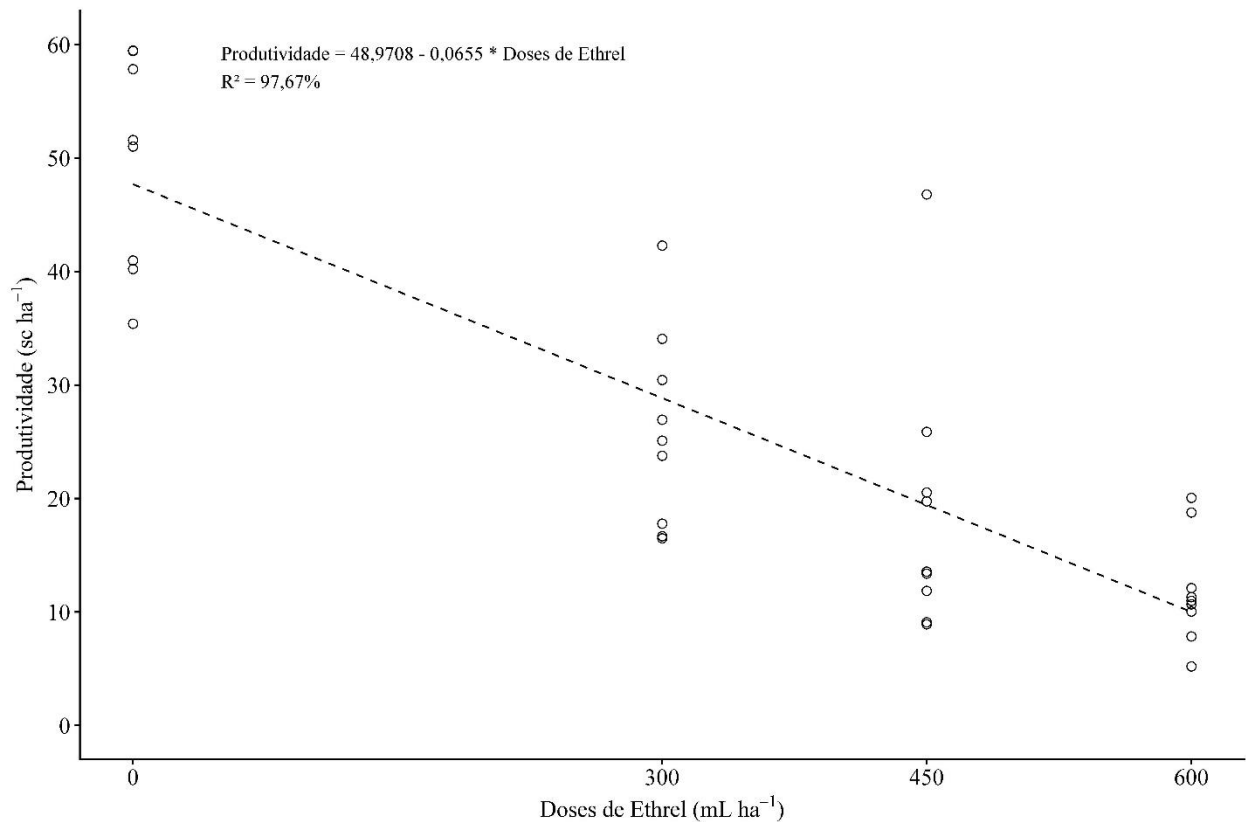
Os resultados obtidos corroboram essa resposta fisiológica, uma vez que o incremento das doses de Ethrel<sup>®</sup> promoveu reduções lineares na altura das plantas, na altura de inserção do primeiro fruto, no número de vagens por planta e no número de sementes por vagem. Como esses componentes são determinantes da produtividade final do feijoeiro, a redução conjunta dessas variáveis explica o decréscimo observado no rendimento de grãos (Fageria; Baligar; Jones, 2011).

Por outro lado, a ausência de resposta significativa entre as fontes de fósforo indica que, na dose de 135 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizada no experimento, os fertilizantes apresentaram desempenho agronômico semelhante quanto ao fornecimento de fósforo ao feijoeiro, não resultando em diferenças na produtividade entre os tratamentos. Esse resultado deve ser interpretado considerando o teor inicial de fósforo no solo (\_\_\_ mg dm<sup>-3</sup>), uma vez que a disponibilidade inicial do nutriente influencia a resposta da cultura à adubação fosfatada. De acordo com Malavolta (2006), em solos com adequada disponibilidade de fósforo ou quando são aplicadas doses equivalentes capazes de suprir a demanda da cultura, diferentes fontes fosfatadas tendem a apresentar eficiência agrônômica semelhante.

Dessa forma, verifica-se que a produtividade do feijoeiro foi influenciada predominantemente pelas doses de Ethrel<sup>®</sup>, enquanto as fontes de fósforo não exerceram efeito significativo sobre essa variável. Assim, conclui-se que as doses avaliadas do regulador de crescimento foram excessivas para as condições e os estádios fenológicos de aplicação (V3, V4 e R5), comprometendo o desenvolvimento reprodutivo e reduzindo expressivamente o potencial produtivo da cultura.

Nas condições em que o experimento foi conduzido, as doses avaliadas promoveram redução linear no crescimento e na produtividade da cultura, indicando que não foram adequadas para maximizar o desempenho agrônômico da cultivar. As aplicações sequenciais do regulador de crescimento nos estádios fenológicos V3, V4 e R5 alteraram o desenvolvimento do feijoeiro, resultando em plantas de menor porte, menor número de vagens por planta, menor número de grãos por vagem e, conseqüentemente, menor produtividade. Esses resultados sugerem que as doses aplicadas afetaram negativamente o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura, possivelmente em razão da redução da área fotossinteticamente ativa e da disponibilidade de fotoassimilados para o enchimento dos grãos. Esse comportamento está de acordo com Taiz *et al.*

(2017), que relatam que concentrações elevadas de etileno podem inibir o crescimento vegetativo, acelerar a senescência e prejudicar o desenvolvimento reprodutivo, refletindo negativamente na produtividade das culturas.



**Figura 5** – Produtividade de grãos de feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.), expressa em sacas por hectare (sc ha⁻¹), em função das doses do regulador de crescimento Ethrel®.

Os resultados obtidos demonstraram que as fontes de fertilizantes fosfatados não influenciaram significativamente nenhuma das variáveis avaliadas. Uma possível explicação para essa resposta é a elevada dose de fósforo utilizada (135 kg ha⁻¹ de P₂O₅), superior à recomendada para a cultura em solos com disponibilidade semelhante à da área experimental, que varia em torno de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Sousa; Lobato, 2004). Nessas condições, é provável que a exigência nutricional do feijoeiro tenha sido plenamente atendida por todas as fontes avaliadas, reduzindo a possibilidade de diferenciação quanto à eficiência agrônômica entre os fertilizantes.

O resultado sugere que as fontes utilizadas foram igualmente eficientes em suprir as necessidades nutricionais da cultura, proporcionando condições adequadas para o desenvolvimento das plantas. Dessa forma, o fósforo não constituiu um fator limitante ao crescimento e à

produtividade do feijoeiro durante a condução do experimento, permitindo atribuir o padrão de resposta de crescimento refletindo apenas a aplicação do regulador de crescimento. As doses de Ethrel® exerceram influência sobre todas as características agronômicas e produtivas avaliadas. O padrão de resposta linear decrescente observado para altura de plantas, altura de inserção do primeiro fruto, número de vagens desenvolvidas, número de sementes por vagem e produtividade, evidencia que o aumento das doses do regulador promoveu efeitos negativos sobre o desenvolvimento da cultura. No entanto, não fica claro se o efeito é apenas dose ou a aplicação sequencial do regulador em fenofase críticas do desenvolvimento da cultura.

O Ethrel® possui como ingrediente ativo o etefom (ácido 2-cloroetilfosfônico), composto que, ao ser absorvido pelos tecidos vegetais, libera etileno. Esse fitormônio participa de diversos processos fisiológicos relacionados ao crescimento, maturação, senescência e abscisão de órgãos vegetais (Davies, 2010; Taiz *et al.* 2017). Embora o etileno possa ser utilizado para modular o desenvolvimento das plantas, doses elevadas frequentemente promovem redução do crescimento vegetativo devido à inibição do alongamento celular e à diminuição do comprimento dos entrenós.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram aqueles encontrados por Ngatia *et al.* (2003), que observaram redução da altura das plantas, do número de vagens e da produtividade de feijão-comum submetido à aplicação de etefom. Os autores concluíram que o regulador não proporcionou benefícios agronômicos à cultura, comportamento semelhante ao observado no presente trabalho.

A redução da altura das plantas observada neste estudo está de acordo com a ação fisiológica do etileno sobre o crescimento vegetal. Como consequência da menor estatura das plantas, também foi verificada redução na altura de inserção do primeiro fruto, característica importante para a colheita mecanizada. Plantas com menor altura e menor inserção das vagens podem apresentar maiores perdas durante a colheita, reduzindo a eficiência operacional e comprometendo o rendimento final da cultura.

Resultados semelhantes foram relatados por Lee *et al.* (2021) e Pangeni *et al.* (2024), que verificaram diminuição da altura das plantas com o aumento das doses do regulador.

Além dos efeitos sobre o crescimento vegetativo, o aumento das doses de Ethrel® reduziu significativamente o número de vagens desenvolvidas e o número de sementes por vagem. Esses resultados indicam possível interferência do regulador nos processos reprodutivos da planta, afetando a formação, retenção e desenvolvimento das estruturas produtivas. Em condições de elevada concentração de etileno, podem ocorrer alterações no balanço hormonal da planta,

favorecendo processos de senescência e abscisão de flores e vagens, o que contribui para a redução dos componentes de rendimento.

A produtividade apresentou comportamento semelhante ao observado para os demais componentes de produção, demonstrando redução linear à medida que as doses de Ethrel® foram elevadas. Considerando que a produtividade é resultado da interação entre o número de vagens, o número de sementes e o desenvolvimento geral da planta, a diminuição dessas variáveis explica diretamente a redução observada no rendimento da cultura. O elevado coeficiente de determinação obtido para a regressão da produtividade reforça a forte influência exercida pelas doses do regulador sobre o desempenho produtivo do feijoeiro.

A diminuição do número de vagens, do número de sementes por fruto e da produtividade observada neste estudo pode estar relacionada à interferência do etileno sobre processos reprodutivos, favorecendo a senescência e a abscisão de estruturas vegetativas e reprodutivas. Resultados semelhantes foram observados em feijão por Tucker *et al.* (1975) e Ngatia *et al.* (2003).

De modo geral, os resultados obtidos também validam os achados de Zhang *et al.* (2022) e Kasele *et al.* (1994), que relataram efeitos do etefom sobre o crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas, especialmente por meio da redução da altura, do desenvolvimento das estruturas produtivas e da produtividade. Segundo esses autores, a liberação de etileno após a aplicação do regulador pode reduzir o alongamento celular, alterar o balanço hormonal e influenciar negativamente o desenvolvimento das culturas quando utilizado em doses elevadas.

Além disso, Karavidas *et al.* (2022), em revisão sistemática sobre o feijão-comum, destacam que componentes de rendimento, como número de vagens por planta e número de sementes por fruto, exercem influência direta sobre a produtividade final da cultura, corroborando os resultados observados neste estudo. Dessa forma, a redução simultânea da altura das plantas, da altura de inserção do primeiro fruto, do número de vagens desenvolvidos, do número de sementes por fruto e da produtividade evidencia que o aumento das doses de Ethrel® comprometeu o desempenho agrônômico do feijão-rajado.

## 6. CONCLUSÃO

As fontes de fertilizantes fosfatados, na dose de 135 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, não constituíram fator determinante para alterações na arquitetura de plantas ou na produtividade do feijão-rajado

(*Phaseolus vulgaris* L.), apresentando desempenho semelhante nas condições deste estudo.

O regulador de crescimento comercial Ethrel® promoveu alterações morfológicas no feijoeiro, influenciando características como a altura das plantas, o número de ramificações e os componentes de rendimento. Entretanto, a estratégia de aplicações sequenciais nos estádios fenológicos V3, V4 e R5, nas doses de 0,300; 0,450 e 0,600 L ha<sup>-1</sup>, não é recomendada para a cultivar BRS Radiante nas condições em que o experimento foi conduzido, uma vez que resultou em redução da produtividade.

Para trabalhos futuros, recomenda-se avaliar aplicações em estádios fenológicos isolados ou em menor número de aplicações, bem como testar doses inferiores às utilizadas neste estudo, visando identificar estratégias de manejo que permitam explorar os efeitos fisiológicos do etefon sem comprometer o potencial produtivo da cultura.

## REFERÊNCIAS

- AGRO BAYER. **Ethrel® 720 Regulador de Crescimento**. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/d/regulador-de-crescimento-bcs-ethrel-720-br>. Acesso em: 14 set. 2025.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ARAÚJO, E. V. B. *et al.* Solubilização de Fosfatos e Potássio por Bactérias Rizosféricas - Uma Revisão. **Nativa**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 843-852, 21 dez. 2024. *Nativa*. <http://dx.doi.org/10.31413/nat.v12i4.17576>.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2013.
- BARBOSA, K. de P. **Fontes e Formas de Aplicação de Fertilizantes Fosfatados em Cultivos Consecutivos de Soja em Latossolo de Alta Fertilidade**. 2020. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, 2020.
- BAYER S.A. **Ethrel®: bula do produto**. São Paulo: Bayer S.A. Disponível em: [ADAPAR – Ethrel \(PDF\)](#). Acesso em: 20 jun. 2026.
- BIOSUL FERTILIZANTES. **Sintomas de Deficiência de Nutrientes na Cultura do Feijão**. 2021. Disponível em: [https://www.biosul.com/uploads/arqs\\_guias/20140820\\_085719\\_feijao.pdf](https://www.biosul.com/uploads/arqs_guias/20140820_085719_feijao.pdf). Acesso em: 13 set. 2025.

BRITO, W. D. de P. *et al.* Performance of streaked bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) in a low-altitude. **Harmony Of Knowledge: Exploring Interdisciplinary Synergie**, [S.L.], p. 1-10, 11 jan. 2024. Seven Editora. <http://dx.doi.org/10.56238/sevened2023.006-109>.

CAMPOS, J. P. de C. **Desempenho de Cultivares de Feijoeiro Comum Submetidas a Diferentes Ambientes de Produção**. 2024. 46 f. Monografia (Especialização) - Curso de Agronomia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Unaí, 2024.

CARVALHO, M. da C. S. de; SILVEIRA, P. M. da. **Adubação - Feijão**. 2023. Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/adubacao>. Acesso em: 12 set. 2025.

CARVALHO, M. da C. S. de; SILVEIRA, P. M. da. **Feijão - Adubação**. Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/adubacao>. Acesso em: 13 set. 2025.

COÊLHO, J. D. Feijão: Produção e Mercados: v. 6 n. 197 (2021). **Caderno Setorial ETENE**, Fortaleza, v. 6, 2024. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2869>. Acesso em: 11 set. 2025.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2024/25**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2025.

COSTA, J. G. C. da *et al.* **Feijão-rajado**. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pre-producao/cultivares/rajado>. Acesso em: 11 set. 2025.

COSTA, K. S. de Q. *et al.* Fósforo no sistema solo-planta: uma revisão. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 1-24, 20 jun. 2024. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.55905/oelv22n6-184>.

COSTA, K. S. de Q. *et al.* Fósforo no sistema solo-planta: uma revisão. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, [S.L.], v. 22, n. 6, 20 jun. 2024. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.55905/oelv22n6-184>.

DAVIES, P. J. **Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!** 3. ed. Dordrecht: Springer, 2010.

EMBRAPA. **Cultivares de feijão do grupo comercial rajado – BRS Radiante**. Agência de Informação Tecnológica (Ageitec), atualização de 2023.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and Mineral Nutrition of Field Crops**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

FARIA, L. C. *et al.* **BRS Radiante: nova cultivar precoce de feijoeiro comum com tipo de**

**grão rajado.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002 (Comunicado Técnico, 45).

FERREIRA, C. M; BARRIGOSSI, J. A. F. **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar.** Brasília, DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2021. 164 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. **Soja, milho, arroz e feijão apresentam as maiores estimativas previstas para 2025.** 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/42191-em-novembro-ibge-preve-safra-de-294-3-milhoes-de-toneladas-para-2024-e-de-314-8-milhoes-de-toneladas-para-2025>. Acesso em: 11 set. 2025.

IBRAFE – INSTITUTO BRASILEIRO DE FEIJÃO E PULSES. **Feijão: história, como cultivar e variedades do grão.** 2023. Disponível em: <https://www.ibrafe.org/artigo/feijao-historia-como-cultivar-e-variedades-do-grao>. Acesso em: 13 set. 2025.

IBRAFE – INSTITUTO BRASILEIRO DO FEIJÃO E PULSES. **Mercado de Pulses cresce com demanda global e busca por transparência.** 2025. Com informações de Miller Magazine. Disponível em: <https://www.ibrafe.org/noticias/mercado-de-pulses-cresce-com-demanda-global-e-busca-por-transparencia>. Acesso em: 13 set. 2025.

IBRAFE – INSTITUTO BRASILEIRO DO FEIJÃO E PULSES. **Pulse Day percorre estados brasileiros com informação técnica e inovações.** 2024. Disponível em: <https://www.ibrafe.org/noticias/pulse-day-percorre-estados-brasileiros-com-informacao-tecnica-e-inovacoes>. Acesso em: 13 set. 2025.

KARAVIDAS, I. *et al.* Agronomic practices to increase yield and quality of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): a systematic review. **Agronomy**, v. 12, n. 2, p. 271, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12020271.

KASELE, I. *et al.* Ethephon alters maize growth, water use, and grain yield under water stress. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 2, p. 283-288, 1994. DOI: 10.2134/agronj1994.00021962008600020014x.

LEE, B. R. *et al.* Ethephon-induced ethylene enhances protein degradation in source leaves, but its high endogenous level inhibits the development of regenerative organs in *Brassica napus*. **Plants**, v. 10, n. 10, p. 1993, 2021. DOI: 10.3390/plants10101993.

LEITE, G. B.; COUTO, M.; PETRI, J. L. Reguladores de crescimento. In: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Org.). **Maçã: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília: Embrapa, 2013. p. 251-264. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/975646>. Acesso em: 14 set. 2025.

LOVATTO, V. Z. **Modos de Aplicação de Fósforo na Cultura da Soja em Sistema Plantio Direto.** 2025. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade

Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2025.

LÜDERS, M. **Feijão: Brasil bate recordes nas exportações e conquista prêmio por sustentabilidade**. 2025. IBRAFE - Instituto Brasileiro do Feijão e Pulses/Canal Rural. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/opinio-noticias/feijao-brasil-bate-recorde-nas-exportacoes-e-conquista-premio-por-sustentabilidade/>. Acesso em: 13 set. 2025.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARQUES, H. G. M.; CORREA, P. R. R. (2025). Reguladores de Crescimento na Cultura do Feijão. **Revista Agroveterinária Do Sul De Minas** - ISSN: 2674-9661, 7(1), 30–46. Recuperado de <https://www.periodicos.unis.edu.br/agrovetsulminas/article/view/995>

MARQUES, H. G.; CORREA, P. R. R. Reguladores de Crescimento na Cultura do Feijão. **Revista Agroveterinária do Sul de Minas**, Varginha, v. 7, n. 1, p. 30-46, 2025.

NGATIA, C. M. *et al.* Effects of ethephon on the growth, yield and yield components of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agriculture, Science and Technology**, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004. DOI: 10.4314/jagst.v5i1.31660.

OLIVEIRA, L. C. A.de *et al.* As Frações de fósforo em função do uso de fertilizantes fosfatados em distintas classes de solo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 1-15, 31 jul. 2021. Centro Universitario de Maringa. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n4e8921>.

PANGENI, A. *et al.* Efficacy of ethephon doses on vegetative and reproductive attributes of watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai). **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, v. 12, n. 6, p. 1039-1045, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v12i6.1039-1045.6794>

PAULA, E. de *et al.* Recursos genéticos do feijão (*Phaseolus* spp.). **Tópicos em Recuperação de Áreas Degradadas Vol. 4**, [S.L.], p. 217-242, 2022. Mérida Publishers. <http://dx.doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-10-7.c8>.

PEIXOTO, R. **Mudanças climáticas comprometem futuro da produção de feijão no Brasil**. 2023. Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-noticias-embrapa/busca-de-noticias/-/noticia/78439603/mudancas-climaticas-comprometem-futuro-da-producao-de-feijao-no-brasil>. Acesso em: 13 set. 2025.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.

RESENDE, L. P. **Influência de bioestimulantes e reguladores de crescimento na produtividade do feijoeiro comum**. 2022. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) -- Universidade Federal de Uberlândia, 2022.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

SILVA, A. R.; DUARTE, A. R. Efeitos da Utilização de Regulador de Crescimento Vegetal a Base de Benziladenina sob Engalhamento e Floração da Cultura do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): Um artigo original. **Anais do 3º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma**. 2020; 30-39

SILVA, C. P. da *et al.* Reguladores vegetais no crescimento e desenvolvimento de plantas cultivadas in vitro. **Agricultura 4.0**, [S.L.], p. 46-57, 26 maio 2020. Pantanal Editora. <http://dx.doi.org/10.46420/9786599064159cap3>.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

SUSTENTAREA – NÚCLEO DE PESQUISA E EXTENSÃO DA USP SOBRE ALIMENTAÇÃO SUSTENTÁVEL. **Feijão nosso de cada dia: cultura, resistência e sabor**. 2025. Disponível em: <https://www.fsp.usp.br/sustentarea/2025/04/29/feijao-nosso-de-cada-dia-cultura-resistencia-e-sabor/>. Acesso em: 13 set. 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TUCKER, C. L. *et al.* Effects of ethephon on seed yield of *Phaseolus vulgaris* L. **HortScience**, v. 10, n. 2, p. 156-157, 1975.

VELOSO, C. A. C. *et al.* Correção da acidez do solo. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. de J. M. (Ed.). **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Pt. 1, cap. 10, p. 121-131.

VIEIRA, M. O. C. S *et al.* (2021). Utilização de adubo fosfatado e inoculante à base de fungo micorrízico no cultivo do feijão. **Revista De Ciências Agro-Ambientais**, 19(1), 16-24. <https://doi.org/10.30681/rcaa.v19i1.5025>

ZHANG, Y. *et al.* Ethephon reduces nitrogen uptake in maize but improves nitrogen utilization in *Zea mays* L. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, art. 762736, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.762736.

ZUCARELI, C. *et al.* Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, [S.L.], v. 28, n. 1, p. 9-15, abr. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222006000100002>.

## APÊNDICE A

Os pressupostos da análise de variância foram avaliados por meio dos testes de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk), homogeneidade das variâncias (O'Neill e Mathews) e aditividade dos blocos (Tukey) (Tabela 6). Os resultados indicaram que a homogeneidade das variâncias foi atendida para todas as variáveis avaliadas ( $p > 0,05$ ), demonstrando adequação desse pressuposto para a aplicação da ANOVA.

A normalidade dos resíduos foi observada para altura de planta, altura de inserção do primeiro fruto, número de sementes por fruto e produtividade ( $p > 0,05$ ). Apenas a variável número de vagens desenvolvidos apresentou desvio da normalidade ( $p = 0,0082$ ).

Em relação à aditividade dos blocos, verificou-se atendimento desse pressuposto para a maioria das variáveis analisadas, com exceção do número de sementes por fruto ( $p = 0,0077$ ), que apresentou evidências de não aditividade.

De modo geral, os resultados demonstram que os pressupostos da análise de variância foram atendidos para a maior parte das variáveis estudadas, conferindo confiabilidade às inferências estatísticas realizadas.

**Tabela 6** - Resultados dos testes de normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e aditividade dos blocos para as variáveis avaliadas em feijão-rajado (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a diferentes fontes de adubação e doses de Ethrel®

| Variáveis analisadas                      | Normalidade <sup>1</sup> | Homogeneidade <sup>2</sup> | Aditividade <sup>3</sup> |
|-------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Altura de planta (cm)                     | 0,6272                   | 0,0794                     | 0,9147                   |
| Altura de inserção do primeiro fruto (cm) | 0,2931                   | 0,0801                     | 0,5504                   |
| Número de vagens desenvolvidos            | 0,0082                   | 0,0508                     | 0,4472                   |
| Número de semente por fruto               | 0,1582                   | 0,9061                     | 0,0077                   |
| Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )      | 0,2565                   | 0,1553                     | 0,3297                   |

<sup>1</sup> Teste de Shapiro-Wilk ao nível e 5% de probabilidade

<sup>2</sup> Teste de O'Neill e Mathews ao nível de 5% de probabilidade

<sup>3</sup> Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Nota: Valores de p obtidos pelos testes de Shapiro-Wilk (normalidade dos resíduos), O'Neill e Mathews (homogeneidade das variâncias) e Tukey (aditividade dos blocos). Valores inferiores a 0,05 indicam rejeição da hipótese nula dos respectivos testes, caracterizando ausência de normalidade dos resíduos, heterogeneidade das variâncias ou não aditividade dos blocos.

Embora tenham sido observadas violações pontuais dos pressupostos para algumas

variáveis, os resultados da análise de variância podem ser considerados confiáveis. Segundo Pimentel-Gomes (2009), a ANOVA apresenta relativa robustez a desvios moderados da normalidade dos resíduos, principalmente em experimentos agrícolas conduzidos em delineamentos balanceados. De forma semelhante, Banzatto e Kronka (2013) destacam que pequenas violações dos pressupostos não comprometem substancialmente a validade dos testes F, desde que não ocorram heterogeneidades severas de variância.

Nesse contexto, como a homogeneidade das variâncias foi atendida para todas as variáveis avaliadas e apenas uma variável apresentou desvio significativo da normalidade, considera-se que os resultados obtidos pela análise de variância são adequados para a interpretação dos efeitos dos tratamentos. Além disso, a utilização de delineamento experimental balanceado contribui para minimizar possíveis impactos decorrentes dessas violações, conferindo maior confiabilidade às inferências realizadas.