

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
MINAS GERAIS - *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA  
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Kellen Fernanda França de Oliveira

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE NA CULTURA  
DO FEIJÃO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)**

São João Evangelista

2025

KELLEN FERNANDA FRANÇA DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE NA CULTURA  
DO FEIJÃO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Federal de Minas  
Gerais – *Campus* São João Evangelista  
como exigência parcial para obtenção do  
título de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Lemos  
Coorientador: Prof. Dr. Rafael Carlos dos  
Santos

São João Evangelista

2025

---

O48a Oliveira, Kellen Fernanda França de.  
Adubação fosfatada e aplicação de bioestimulante na cultura do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris L.*)/ Kellen Fernanda França de Oliveira – 2025.  
38f.: il.

Orientador: Dr. João Paulo Lemos.  
Coorientador: Dr. Rafael Carlos dos Santos  
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2025.

1. Biorreguladores. 2. Fósforo. 3. Feijão carioca. I. Oliveira, Kellen Fernanda França de. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

CDD 631.85

---


Catálogo: Esther Soares Cunha - CRB-6/4333

KELLEN FERNANDA FRANÇA DE OLIVEIRA

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE NA CULTURA DO FEIJÃO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)**


Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia *Campus* São João Evangelista–IFMG, como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em agronomia.

Aprovada em 01/07/2025 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **JOAO PAULO LEMOS**  
Data: 18/07/2025 14:37:12-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof. Dr. João Paulo Lemos – IFMG/SJE (Orientador)

Documento assinado digitalmente  
 **RAFAEL CARLOS DOS SANTOS**  
Data: 18/07/2025 21:28:41-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Rafael Carlos dos Santos – IFMG/SJE (Coorientador)

Documento assinado digitalmente  
 **LUIZ FELIPE DE OLIVEIRA**  
Data: 20/07/2025 18:35:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Luiz Felipe de Oliveira IFMG/SJE

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e sabedoria ao longo dessa jornada. Aos meus familiares, aos meus orientadores, pela paciência, dedicação e valiosas contribuições. E a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa conquista, meu muito obrigada.

## RESUMO

Para aumentar a produtividade do feijoeiro, é necessário implementar técnicas e procedimentos que analisem as vantagens relacionadas à resistência das plantas aos estresses ambientais, bem como à maior eficiência no uso de elementos minerais no solo, resultando em possíveis acréscimos no rendimento da cultura. Diante do exposto, objetivou-se, neste trabalho, estudar o efeito da aplicação do bioestimulante vegetal Stimulate® em associação com diferentes doses de fósforo na cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*). O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no setor de horticultura do IFMG-SJE em esquema fatorial 5x2, no delineamento em Blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. O primeiro fator foi composto por cinco doses de P (0, 60, 120, 180 e 240 kg mg/dm<sup>3</sup>) e o segundo fator pela aplicação do bioestimulante Stimulate® (sem aplicação e com aplicação via foliar). As análises foram realizadas em três estádios fenológicos diferentes da cultura; aos 40 dias após o plantio (DAP), os parâmetros analisados foram: diâmetro de caule, teor relativo de clorofila; aos 52 DAP foram avaliadas as seguintes variáveis: diâmetro de caule, teor relativo de clorofila; ao final do experimento 72 DAP, foram coletadas as plantas e mensuradas a massa da matéria seca de folhas, caule, vagens e raízes. Os dados foram obtidos e submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no programa estatístico Sisvar.

**Palavras-chave:** Biorreguladores. Fósforo. Feijão carioca

## ABSTRACT

To increase common bean productivity, it is necessary to implement techniques and procedures that analyze the advantages related to plant resistance to environmental stresses, as well as greater efficiency in the use of mineral elements in the soil, resulting in possible increases in crop yield. Given the above, the objective of this study was to study the effect of applying the plant biostimulant Stimulate® in association with different doses of phosphorus in common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) crops. The experiment was conducted in a greenhouse located in the horticulture sector of IFMG-SJE in a 5x2 factorial scheme, in a randomized block design (RBD), with four replications. The first factor consisted of five doses of P (0, 60, 120, 180 and 240 mg/dm<sup>3</sup>) and the second factor consisted of the application of the biostimulant Stimulate® (without application and with foliar application). The analyses were performed at three different phenological stages of the crop; At 40 days after planting (DAP), the parameters analyzed were: stem diameter, relative chlorophyll content; at 52 DAP, the following variables were evaluated: stem diameter, relative chlorophyll content; at the end of the experiment 72 DAP, the plants were collected and the dry matter mass of leaves, stem, pods and roots was measured. The data were obtained and subjected to analysis of variance (ANOVA) and compared by Tukey's test at 5% probability in the Sisvar statistical program.

**Keywords:** Bioregulators. Phosphorus. Carioca beans.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fases fenológicas do feijoeiro.....	11
Quadro 1A - Resumo da análise de variância de clorofila mediação 1 (CLF1), (CLF2), (DIAM1), (DIAM2), (MMSR), (MMSV), (MMSPA), (MMST), (PA-SR), (IC-MMSV), obtidos no experimento em feijão submetidos a aplicação de stimulate e doses de fósforo. São João Evangelista-MG, 2025.....	35
Quadro 2 - Disposição e caracterização de tratamentos usados no experimento, conforme a dose de fósforo e a aplicação de Stimulate® referente a combinação dos diferentes níveis dos fatores avaliados.....	17

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise de Solo.....	16
---------------------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Efeito das doses de fósforo e do bioestimulante Stimulate® no diâmetro (DIÂM1)  
SE --- sem Stimulate® CE – com Stimulate® .....23
- Figura 2 - Efeito das doses de fósforo e do bioestimulante Stimulate® na Massa Seca do Caule  
(MMSC) SE --- sem Stimulate® CE – com Stimulate®.....24
- Figura 3 - Efeito das doses de fósforo e do bioestimulante Stimulate® na Massa Seca da Vagem  
(MMSV) SE --- sem Stimulate® CE – com Stimulate®.....25
- Figura 4 - Efeito das doses de fósforo e do bioestimulante Stimulate® na Massa Seca da Folha  
(MMSF) SE --- sem Stimulate® CE – com Stimulate®.....27
- Figura 5 - Efeito das doses de fósforo e do bioestimulante Stimulate® na Massa Seca da Raiz  
(MMSR) SE --- sem Stimulate® CE – com Stimulate®.....28
- Figura 6 - Modelagem utilizando as variáveis Diâmetro de Caule e Massa da Matéria seca da  
Parte Aérea do feijoeiro sob doses de fósforo e presença ou não do Stimulate®.....29

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Feijão .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Adubação fosfatada .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Bioestimulantes .....</b>	<b>15</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Caracterização da área experimental .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2 Características do bioestimulante .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 Características do adubo fosfatado .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4 Características da cultivar utilizada BRS Estilo .....</b>	<b>18</b>
<b>3.5 Preparo do solo .....</b>	<b>19</b>
<b>3.6 Instalação do experimento .....</b>	<b>20</b>
<b>3.7 Coleta e análise de dados .....</b>	<b>21</b>
<b>3.8 Análises estatísticas .....</b>	<b>22</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>
<b>APÊNDICE A – ANÁLISES ESTATÍSTICAS DAS VARIÁVEIS ANALISADAS...39</b>	

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) é uma das principais leguminosas cultivadas e consumidas no Brasil, desempenhando um papel fundamental na alimentação da população e na economia agrícola. Em 2024, o Brasil produziu aproximadamente 3,1 milhões de toneladas de feijão, representando um aumento de 5,5% em relação ao ano anterior. O Paraná liderou a produção nacional com 830,7 mil toneladas, seguido por Minas Gerais com 532,5 mil toneladas e Goiás com 349,5 mil toneladas (IBGE, 2024). Além de sua importância econômica, o feijão é uma excelente fonte de proteínas, fibras e micronutrientes (EMBRAPA, 2023).

A cultura do feijão é estratégica tanto para a segurança alimentar quanto para o sustento econômico de milhares de pequenos e médios produtores. A sua produção, no entanto, enfrenta desafios significativos, incluindo a baixa produtividade em determinadas regiões do Brasil, devido a fatores como o uso inadequado de práticas agrícolas e a baixa fertilidade do solo (BORGES *et al.*, 2022). Entre os fatores que influenciam o sucesso dessa cultura, a adubação fosfatada desempenha um papel fundamental, uma vez que o fósforo é um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas.

O fósforo é um dos principais elementos no processo de fotossíntese, atuando como um condutor de energia na planta. Ele participa da formação de compostos como o ATP (adenosina trifosfato), que é a principal fonte de energia para as reações bioquímicas que ocorrem dentro da planta (MARSCHNER, 2012).

Esse nutriente está diretamente envolvido na produção de energia necessária para o crescimento e desenvolvimento do feijoeiro, influenciando a formação de raízes, flores e frutos (SOUZA *et al.*, 2020). Com o intuito de se elevarem os níveis de produtividade do feijão novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas e testadas. Neste sentido, pesquisas com o uso de reguladores de crescimento, associados ou não a adubações, têm sido cada vez mais comuns (LANA *et al.*, 2009), com o objetivo de modificar o desenvolvimento das plantas, com reflexos na produtividade (DOURADO NETO *et al.*, 2004).

Segundo o ministério da agricultura (2025), os bioestimulantes são substâncias ou microorganismos que, quando aplicados nas plantas, estimulam processos biológicos que favorecem o crescimento e a resistência a estresses abióticos, como seca, temperaturas extremas e deficiências nutricionais. Eles podem atuar de diversas formas, incluindo a melhoria da absorção de nutrientes, o aumento da atividade fotossintética e o fortalecimento das defesas naturais das plantas (CALVO *et al.*, 2014).

O uso de bioestimulantes também pode ajudar a reduzir a dependência de fertilizantes

químicos, promovendo práticas mais sustentáveis no cultivo do feijão. Além disso, estudos indicam que os bioestimulantes podem melhorar a qualidade dos grãos, resultando em feijões de melhor tamanho e valor nutricional, o que agrega valor à produção e contribui para a segurança alimentar (YAKHIN *et al.*, 2017).

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da adubação fosfatada associada à aplicação de bioestimulante no desenvolvimento vegetativo, do feijão-comum.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Feijão

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas mais importantes em todo o mundo, sendo a principal fonte de proteína vegetal para muitas populações, especialmente na América Latina, Ásia e África (MEJÍA, 2016). O feijoeiro pertence à família *Fabaceae* e ao gênero *Phaseolus*, sendo uma planta herbácea de ciclo anual, com sistema radicular superficial e tipo de caule geralmente anguloso. A planta tem folhas compostas e trifoliadas, que se distribuem ao longo de ramos laterais. Uma característica importante do feijoeiro é sua autogamia, ou seja, a autopolinização, o que significa que o feijoeiro é capaz de se polinizar sem a intervenção de agentes externos, como insetos ou vento. A flor do feijoeiro é, portanto, cleistógama, o que permite sua polinização imediata ao abrir (CASTELLANE *et al.*, 1988).

O ciclo de desenvolvimento do feijoeiro é dividido em dois estádios principais: vegetativo e reprodutivo. O estágio vegetativo é caracterizado pelo crescimento da planta, enquanto o estágio reprodutivo envolve a formação de flores, vagens e grãos (OLIVEIRA *et al.*, 2023). O feijoeiro passa por diversas fases dentro desses estádios, como germinação, desenvolvimento da planta, floração, formação de vagens e maturação dos grãos. Cada uma dessas fases tem necessidades específicas de água, luz e nutrientes, e a otimização do manejo agrônômico depende de um correto entendimento das exigências em cada estágio (BUFFON, 2022).

Quadro 1 - Fases fenológicas do feijoeiro.

Fase	Estádio Vegetativo
Fase Vegetativa	V0 a V4
Germinação	V0
Emergência	V1
Folhas primárias	V2
Primeira folha composta aberta	V3
Terceira folha trifoliada aberta	V4
Fase Reprodutiva	R5 a R9
Pré-floração	R5

Floração	R6
Formação	R7
Enchimento das vagens	R8
Maturação	R9

Fonte: Embrapa, 2018.

O feijoeiro é uma cultura adaptável a uma variedade de solos e condições climáticas. No entanto, para otimizar sua produtividade, ele se desenvolve melhor em solos bem drenados, ricos em matéria orgânica e com pH ligeiramente ácido, variando entre 5,5 e 6,5 (ALMEIDA *et al.*, 2018; VIEIRA *et al.*, 2020). A planta também é sensível ao excesso de água, sendo que o encharcamento do solo pode levar ao desenvolvimento de doenças nas raízes e à redução na produtividade. Os feijoeiros também preferem climas tropicais e subtropicais, com temperaturas médias entre 18 °C e 30 °C (SALVADOR, 2014). A cultura é bastante tolerante a variações climáticas, podendo ser cultivada desde o nível do mar até altitudes de 3.000 metros, com a adaptação das variedades às condições locais sendo um fator crítico de sucesso. Essa flexibilidade é um dos motivos pelos quais o feijoeiro é cultivado em várias partes do mundo (ZIMMERMANN & TEIXEIRA, 1996).

O feijoeiro é suscetível a uma variedade de pragas e doenças que podem comprometer seu desenvolvimento e reduzir a produtividade. Entre as principais doenças que afetam a cultura do feijão estão a murcha bacteriana, a antracnose, a ferrugem do feijão e a podridão radicular. (LIMA *et al.*, 2017; VIEIRA *et al.*, 2019). O controle dessas doenças requer um manejo integrado, que inclua o uso de variedades resistentes, tratamentos químicos e biológicos, além de práticas culturais adequadas (SILVA *et al.*, 2016).

O manejo agrônomico do feijoeiro envolve diversas práticas que visam otimizar o crescimento da cultura e aumentar a produtividade. Entre essas práticas, destacam-se a rotação de culturas, o controle de ervas daninhas e o uso de bioestimulantes, tem se mostrado eficaz para melhorar a absorção de nutrientes (GOMES *et al.*, 2018; CARVALHO *et al.*, 2021;). Além disso, a escolha das variedades é crucial para o sucesso da lavoura, com variedades adaptadas a diferentes condições climáticas e resistências específicas a doenças e pragas sendo preferíveis. Em muitos casos, o uso de cultivares melhoradas pode resultar em maior produtividade e menor necessidade de insumos externos (CASTRO & VIEIRA, 2001).

O cultivo do feijoeiro exige um manejo adequado, com atenção às necessidades nutricionais, ao controle de doenças e pragas, e ao ambiente de cultivo. O feijão continua sendo

uma cultura estratégica tanto para a segurança alimentar quanto para a agricultura sustentável (CUNHA *et al.*, 2018; PELÁ *et al.*, 2020).

## 2.2 Adubação fosfatada

A adubação fosfatada desempenha um papel fundamental na agricultura, especialmente no cultivo de leguminosas como o feijão por ser um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas" (FAGERIA *et al.*, 2003; MALAVOLTA *et al.*, 2014).

O fósforo está envolvido em vários processos fisiológicos, incluindo a fotossíntese, a síntese de proteínas e a formação de sementes, o que impacta diretamente a produtividade das culturas (GARCIA *et al.*, 2020). Desempenhando um papel essencial no desenvolvimento radicular e, promovendo um sistema radicular mais robusto, o que favorece a absorção de outros nutrientes e melhora a resistência das plantas a estresses ambientais (LIMA *et al.*, 2019).

A deficiência de fósforo em solos pode limitar o desenvolvimento das plantas, reduzindo o crescimento vegetativo e a formação de vagens e grãos, comprometendo, assim, a produtividade agrícola (ALMEIDA *et al.*, 2021). No Brasil, a adubação fosfatada é particularmente importante, pois muitos solos tropicais apresentam alta taxa de fixação de fósforo, tornando o nutriente menos disponível para as plantas (SANTOS; OLIVEIRA, 2021).

A utilização de fertilizantes fosfatados solúveis, como superfosfato simples, superfosfato triplo e fosfato monoamônico, é uma prática comum para garantir a disponibilização adequada de fósforo nas culturas (MATTOS *et al.*, 2020). O uso eficiente de fertilizantes fosfatados, com técnicas como a aplicação localizada ou a aplicação foliar, pode minimizar perdas e aumentar a eficiência do uso de fósforo (RIBEIRO *et al.*, 2020). No cultivo de feijão, a adubação fosfatada é considerada crucial para o desenvolvimento das plantas, pois o fósforo favorece a formação de raízes profundas, o que facilita a absorção de água e nutrientes, além de contribuir para o aumento do número de vagens e da massa de grãos, diretamente ligados à produtividade (SILVA *et al.*, 2021).

A aplicação adequada de fósforo durante as fases iniciais do crescimento tem mostrado melhores resultados, garantindo um bom desenvolvimento da planta e maior resistência a estresses ambientais (SOUZA *et al.*, 2020).

## 2.3 Bioestimulantes

Os bioestimulantes são definidos, como substâncias naturais ou sintéticas, oriundos da mistura de dois ou mais biorreguladores vegetais ou destes com outras substâncias (aminoácidos, nutrientes e vitaminas), que podem ser aplicados diretamente nas plantas ou em tratamento de sementes (KLAHOLD *et al.*, 2006).

A aplicação de produtos em tratamento de sementes ou via foliar tem se tornado uma prática comum na agricultura moderna. Produtos como os bioestimulantes têm demonstrado grande potencial no aumento da produtividade das culturas, promovendo o desenvolvimento das plantas e a eficiência no uso de recursos como água e nutrientes (LIMA *et al.*, 2018). Os reguladores de crescimento vegetal, também conhecidos como controladores hormonais, têm ganhado destaque no agronegócio à medida que as técnicas de cultivo avançam, especialmente em culturas de grande importância econômica, como soja, milho, algodão e feijão (BUFFON, 2023). Esses biorreguladores favorecem a expressão do potencial genético das plantas mediante alterações nos processos vitais e estruturais, promovem o equilíbrio hormonal e estimulam o desenvolvimento do sistema radicular (CASTRO & VIEIRA, 2001; Silva *et al.*, 2008).

Tais substâncias tem funcionalidade de modificar e aumentar processos metabólicos e fisiológicos, como: aumento da divisão celular e alongamento foliar, síntese de clorofila, ação da fotossíntese, diferenciação das gemas florais, fixação e tamanho dos frutos, absorção de nutrientes e influencia na produtividade (SILVA *et al.*, 2016).

Pelos inúmeros benefícios obtidos a partir da aplicação de reguladores vegetais sobre as plantas cultivadas, combinações desses produtos têm sido estudadas. Levando-se em consideração que o Stimulate® contém em sua composição o ácido indolbutírico (auxina) 0,005%, a cinetina (citocinina) 0,009% e o ácido giberélico (giberelina) 0,005%, substâncias que atuam como biorreguladores de crescimento vegetal, acredita-se que este bioestimulante, em função de sua composição, concentração e proporção das substâncias, pode estimular o crescimento e desenvolvimento das plantas (KOPP; MARTINS; SILVA, 2022). Esses biorreguladores influenciam processos fisiológicos, como a divisão celular, e podem também melhorar a absorção de água e nutrientes pelas plantas (SILVA *et al.*, 2020; ALMEIDA *et al.*, 2021). Segundo Casillas *et al.* (1986), essas substâncias são eficientes quando aplicadas em pequenas doses, favorecendo o bom desempenho de processos vitais da planta, permitindo obter maiores e melhores colheitas, mesmo sob condições ambientais adversas. Têm influência sobre vários órgãos da planta, cujo efeito depende da espécie, do estágio de desenvolvimento, da concentração, da interação entre reguladores e de vários fatores ambientais (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Segundo Milléo (2000), ao verificar a aplicação do Stimulate® via semente e foliar na

cultura da soja, observou que o produto foi eficiente agronomicamente e que proporcionou maior produção de vagens e grãos. Esses efeitos podem ser explicados pela interação entre os reguladores auxina, citocinina e giberelina que atuam no metabolismo vegetal, modulando e regulando o crescimento de diversos órgãos da planta. (SANTOS, 2004).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização da área experimental**

O presente estudo foi realizado na casa de vegetação do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista, localizado na região Centro-Nordeste do Estado de Minas Gerais. As coordenadas geográficas do *campus* são Latitude: 18°33'12"S e Longitude: 42°45'17"W. O clima de São João Evangelista, segundo a classificação climática de Köppen (2010), é do tipo Cwa, caracterizado como temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso e quente. A temperatura média anual na região gira em torno de 20°C, com uma temperatura máxima média de 26°C e mínima de aproximadamente 15°C. A precipitação pluviométrica média anual é de cerca de 1.180 mm, enquanto a altitude média da cidade é de 690 m (INMET, 2023; IBGE, 2022).

#### **3.2 Características do bioestimulante**

O Stimulate®, desenvolvido pela Stoller, é um bioestimulante utilizado para promover o crescimento das plantas, melhorar a absorção de nutrientes e aumentar a resistência a estresses ambientais. Stimulate® contém em sua composição o ácido indolbutírico (auxina) 0,005%, a cinetina (citocinina) 0,009% e o ácido giberélico (giberelina) 0,005%, que favorecem o desenvolvimento radicular, aumentam o vigor das plantas e melhoram a resposta ao estresse hídrico, térmico e nutricional (STOLLER, 2020).

#### **3.3 Características do adubo fosfatado**

O superfosfato triplo (TSP) é amplamente utilizado na cultura do feijoeiro devido à sua alta concentração de fósforo (P), um nutriente essencial para o desenvolvimento da planta. Com aproximadamente 44-46% de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), o superfosfato triplo é uma das fontes mais concentradas desse nutriente disponível para as plantas. O fósforo desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das raízes, flores e frutos do feijoeiro, sendo crucial para o crescimento saudável da cultura.

#### **3.4 Características da cultivar utilizada BRS estilo**

A cultivar BRS Estilo é uma variedade de feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris L.*) desenvolvida pela Embrapa, destacando-se pela boa produtividade e resistência a doenças. Apresenta sementes de tamanho médio, com coloração marrom-clara. Possui ciclo de maturação médio, com cerca de 90 a 100 dias, sendo indicada para regiões tropicais e subtropicais. Apresenta porte vertical, atingindo aproximadamente 70 cm de altura, e hábito de crescimento indeterminado (tipo II). A população final recomendada é de 260 a 300 mil plantas por hectare.

### 3.5 Preparo do solo

O preparo do solo para o experimento foi realizado em etapas que envolvem a correção do solo, o preenchimento dos vasos e a organização dos blocos experimentais dentro da casa de vegetação. O solo utilizado foi coletado de uma área de barranco e, antes do plantio das sementes, passou por uma análise química para identificar a necessidade de correções nos níveis de nutrientes, pH e saturação por bases (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de Solo.

<b>pH</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg</b>	<b>Al</b>	<b>H+Al</b>	<b>SB</b>	<b>t</b>	<b>T</b>	<b>V</b>	<b>m</b>	<b>M.O.</b>
-	mg/dm <sup>3</sup>		cmol/dm <sup>3</sup>							%		dag/kg
<b>5,00</b>	3,19	60,0	0,56	0,17	0,10	3,42	0,88	0,98	4,31	20,52	10,17	0,86

Fonte: Laboratório de Análise de Solos do IFMG – São João Evangelista, 2024.

O solo coletado foi enviado ao laboratório de solos do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* São João Evangelista, para análise dos principais parâmetros de fertilidade, incluindo pH, macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg). A partir dos resultados obtidos, foram realizadas as devidas correções 30 dias antes do plantio, período necessário para reação dos corretivos no solo antes de ser colocado nos vasos. Para correção do solo foi utilizado o calcário calcítico com 40% de óxido de Ca, 5% de óxido de Mg. Após a aplicação do corretivo o solo foi umedecido e acondicionado em uma lona plástica para acelerar o processo de reação e correção (incubação). Passado os 30 dias de correção, foi incorporado ao solo o nitrogênio (uréia) e o potássio (cloreto de potássio), e micronutrientes como fontes o ácido bórico e sulfato de zinco. Após as correções necessárias, o substrato foi adicionado aos vasos, que foram então

organizados em blocos dentro da estufa, visando facilitar a identificação.

### 3.6 Instalação do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em esquema fatorial 5x2 no delineamento em blocos casualizados, com quatro blocos. O primeiro fator (adubação de P), foram testados cinco doses de fósforo (0, 60, 120, 180, 240 mg/dm<sup>3</sup>) e o segundo fator (bioestimulante), com e sem o bioestimulante Stimulate®. Para facilitar a localização, organização e condução do experimento, foram realizadas a identificação dos vasos com informações sobre a dose de fósforo e o tratamento com ou sem aplicação de bioestimulante Stimulate®, conforme quadro abaixo (quadro 2).

Quadro 2 - Disposição e caracterização de tratamentos usados no experimento, conforme a dose de fósforo e a aplicação de Stimulate® referente a combinação dos diferentes níveis dos fatores avaliados.

<b>Tratamento</b>	<b>Dose de Fósforo (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Aplicação de Stimulate®</b>
<b>T1</b>	0	Com Stimulate®
<b>T2</b>	0	Sem Stimulate®
<b>T3</b>	60	Com Stimulate®
<b>T4</b>	60	Sem Stimulate®
<b>T5</b>	120	Com Stimulate®
<b>T6</b>	120	Sem Stimulate®
<b>T7</b>	180	Com Stimulate®
<b>T8</b>	180	Sem Stimulate®
<b>T9</b>	240	Com Stimulate®
<b>T10</b>	240	Sem Stimulate®

Fonte: Autor, 2025.

Após a preparação do solo e a definição dos tratamentos, as doses de fósforo foram aplicadas em cada vaso de 18 litros de capacidade, conforme a dose de fósforo indicada para cada tratamento específico, variando entre 0, 60, 120, 180 e 240 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

A cultivar usada foi a BRS ESTILO feijão carioca, sendo semeadas 5 sementes por vaso. A semeadura foi realizada de forma homogênea, distribuindo as sementes uniformemente sobre a superfície do substrato para garantir uma boa germinação. Após processo de germinação, de 7 dias após plantio (DAP) foi feito o desbaste das plantas. Esse procedimento tem como objetivo reduzir a densidade de plantas por vaso, deixando as 3 plantas mais vigorosas em cada recipiente. O desbaste foi realizado manualmente, com a remoção das plantas mais fracas.

Na transição da fase V3 para V4 do feijoeiro, foi realizada a aplicação do Stimulate® quando a planta atingiu a terceira folha trifoliada. A aplicação foi feita diretamente nas plantas no momento em que a terceira folha trifoliada foi completamente expandida, estágio no qual as plantas têm uma maior capacidade de absorver os compostos ativos do Stimulate®. O produto foi encontrada na bula do produto, utilizando-se um becker e uma pipeta graduada.

A irrigação foi realizada dentro da própria estufa, utilizando o sistema de irrigação por aspersão. A irrigação foi realizada de forma regular, sendo acionada praticamente duas vezes ao dia, uma pela manhã e outra pela tarde para que o solo permanecesse na condição de umidade. Aos 22 dias após o plantio houve a necessidade de controle de pragas como pulgões, para isso, foi utilizado o inseticida ACTARA®.

### **3.7 Coleta e análise de dados**

O trabalho foi conduzido até a colheita do feijoeiro, 72 dias após o plantio (DAP). As análises foram realizadas em dois momentos durante a condução do experimento, a primeira análise foi realizada aos 40 DAP (estádio V3) período ao qual as plantas de feijão apresentam a primeira folha composta aberta. A segunda análise foi realizada aos 52 DAP (estádio R7) momento ao qual inicia-se o processo de formação das vagens. Aos 40 e aos 52 DAP, foi observado os seguintes parâmetros: diâmetro do caule (DC), teor relativo de clorofila (TRC). O diâmetro do caule foi medido com o auxílio de um paquímetro digital, no momento da fase de florescimento e início da formação das vagens, em plantas representativas de cada tratamento e o teor Relativo de Clorofila (TRC) foi determinado por meio de um medidor de clorofila (atLEAF® CHL PLUS chlorophyll meter), que realiza medições rápidas no campo, para isso eram feitas as medições em folhas que se representam o terço médio da planta realizando três medições por planta.

Aos 72 DAP as plantas foram coletadas, identificadas e transportadas para o laboratório de Fisiologia do IFMG para serem avaliadas. A parte aérea foi separada das raízes com auxílio de uma tesoura para poda, e a parte aérea medida com uma régua graduada em cm. As raízes

foram lavadas para remoção do solo. Após a coleta dos dados, o material foi acondicionado em sacos de papel, devidamente separados em caule, folha, raiz e vagens. Em seguida, foram dispostos em estufas com circulação de ar forçado, onde foram mantidos a 65°C por 72 horas, para a determinação do peso da Massa da Matéria Seca das Raízes (MMSR), Massa Seca do Caule (MMSC), Massa Seca das Folhas (MMSF) e Massa Seca das Vagens (MMSV). A pesagem foi realizada através de uma balança analítica de precisão.

### **3.8 Análises estatísticas**

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos e quando significativas, foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e regressão. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos softwares Excel® e o programa Sisvar®.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística mostrou que a aplicação desses fatores não promoveu diferenças significativas no desenvolvimento do feijão, dentro das condições experimentais adotadas. (APÊNDICE A).

Embora a análise estatística não tenha apontado diferenças significativas, algumas tendências puderam ser observadas nas figuras 1,2,3,4 e 5. A aplicação de fósforo mostrou leve variação nos valores médios do diâmetro, massa seca das raízes (MSSR), caule (MMSC), folha (MMSF) e vagem (MMSV), indicando efeito positivo em determinadas doses, ainda que não estatisticamente significativo. A análise por dose permitiu observar comportamentos distintos de resposta do feijoeiro às diferentes quantidades de fósforo aplicadas. Na dose de 0 mg/dm<sup>3</sup>, tanto com quanto sem o uso do Stimulate®, as plantas apresentaram os menores valores médios para a maioria das variáveis analisadas, indicando limitação nutricional. Já na dose de 60 mg/dm<sup>3</sup>, observou-se um leve aumento nos valores, mostrando que essa quantidade já começou a suprir parcialmente as necessidades da planta.

Com a aplicação de 120 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, houve uma resposta mais evidente, com incrementos visíveis no acúmulo de biomassa, diâmetro do caule e massa das estruturas vegetativas, especialmente quando associada ao uso do bioestimulante. A dose de 180 mg/dm<sup>3</sup> se destacou como aquela que proporcionou os maiores valores médios na maioria das variáveis, indicando ser o ponto de máxima resposta fisiológica do feijoeiro, mesmo que sem significância estatística. Essa dose mostrou-se mais eficiente na promoção do crescimento, refletindo em maior massa seca de caule, folhas, raízes e vagens. Contudo, na dose mais elevada, de 240 mg/dm<sup>3</sup>, foi observada uma leve redução nos valores médios das variáveis, mostrando que a partir desse ponto a planta pode ter atingido um nível de saturação nutricional, com possível desequilíbrio na absorção de outros nutrientes ou efeito inibitório por excesso de fósforo.

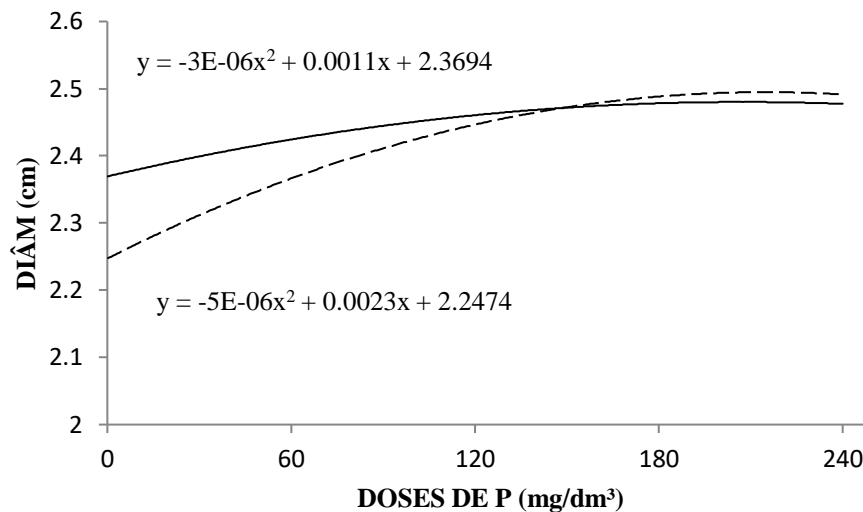
Em estudo semelhante ao presente trabalho, Oliveira *et al.* (2007) avaliou o efeito de doses crescentes de fósforo (0, 50, 100, 200, 400 e 800 mg/dm<sup>3</sup>) no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) cv. Mexicano., foi observado aumento significativo no acúmulo de matéria seca do feijoeiro com o incremento das doses de fósforo, atingindo o máximo entre 380 e 535 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a depender da forma de aplicação. Resultados semelhantes foram descritos por Rocha *et al.* (2018) foram avaliadas as doses de fósforo (0, 30, 60, 90, 120 e 150 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) no acúmulo de biomassa do feijão-caupi. Os resultados mostraram que, em casa de vegetação, a inoculação com rizóbio apresentou resposta linear para a massa seca da

parte aérea, enquanto em campo, a massa seca da parte aérea teve efeito quadrático, atingindo o máximo de 48,51 g na dose de 60 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sem inoculação.

Dutra *et al.* (1995), por sua vez, também relatou aumento no crescimento vegetativo do feijoeiro com doses crescentes de fósforo, independentemente da condição de umidade do solo. Esses estudos reforçam que, apesar das diferenças nem sempre serem estatisticamente significativas, há uma tendência consistente de resposta positiva do feijoeiro ao fornecimento de fósforo até um ponto ótimo. Este tipo de resposta indica que, até determinado limite, o fósforo atua como elemento essencial para a formação de estruturas vegetativas e reprodutivas, mas, em concentrações elevadas, pode levar à inibição fisiológica ou desequilíbrio nutricional.

Segundo Fageria e Baligar (2001), o fósforo é um dos nutrientes mais limitantes para o crescimento de leguminosas em solos tropicais, e a resposta à sua aplicação tende a seguir uma curva quadrática, com máximos fisiológicos antes da toxicidade ou competição por absorção com outros nutrientes. Estudos conduzidos por Oliveira *et al.* (2001) também observaram aumento no crescimento vegetativo e na produção de matéria seca do feijoeiro com doses crescentes de fósforo, porém com queda após certo ponto, atribuída à saturação do sistema radicular. Além disso, Araújo *et al.* (2016) demonstrou que a aplicação de fósforo até doses intermediárias favoreceu a absorção de nutrientes como nitrogênio e potássio, contribuindo para maior acúmulo de biomassa, mas doses elevadas não proporcionaram ganhos adicionais significativos. Esse tipo de resposta reforça a importância de calibrar corretamente as doses de adubação fosfatada com base nas características do solo, cultivar utilizada e estágio fenológico da planta.

Figura 1 - Efeito das doses de fósforo e do bioestimulante Stimulate® no diâmetro (DIÂM1)  
SE --- sem Stimulate® CE – com Stimulate®

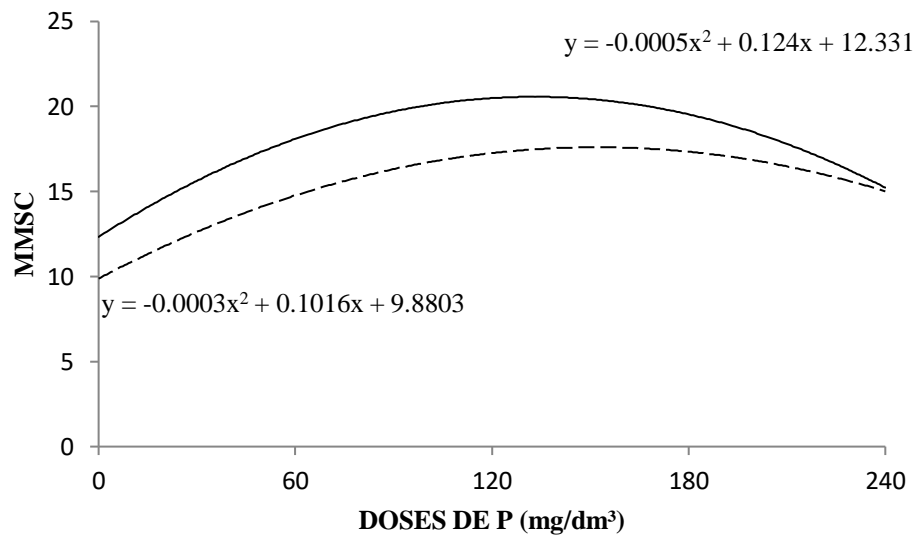


Fonte: Autor, 2025.

Na Figura 1, embora a análise estatística não tenha revelado diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) no diâmetro do caule em função dos tratamentos com bioestimulante e diferentes doses de fósforo, observa-se, visualmente, uma tendência de incremento até a dose de 180 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, seguida de estabilização ou declínio. Essa resposta mostra um efeito do fósforo no crescimento radial da planta, especialmente em associação ao bioestimulante, ainda que não estatisticamente comprovado neste estudo. O aumento no diâmetro é indicativo de maior atividade meristemática e acúmulo de reservas estruturais, possivelmente favorecido pela maior disponibilidade de fósforo. Segundo Fageria *et al.* (2010), o fósforo estimula o crescimento de raízes e caules por aumentar a eficiência fotossintética.

Além disso, o uso de bioestimulantes que contém hormônios vegetais, pode atuar sinergicamente com os nutrientes, promovendo maior expansão celular e engrossamento do caule (CALVO *et al.*, 2014). Em estudo conduzido por Lima *et al.* (2020), verificou-se aumento no diâmetro do caule de plantas de soja com o uso de Stimulate®, em conjunto com adubação fosfatada, embora os efeitos tenham variado conforme o estágio fenológico da planta.

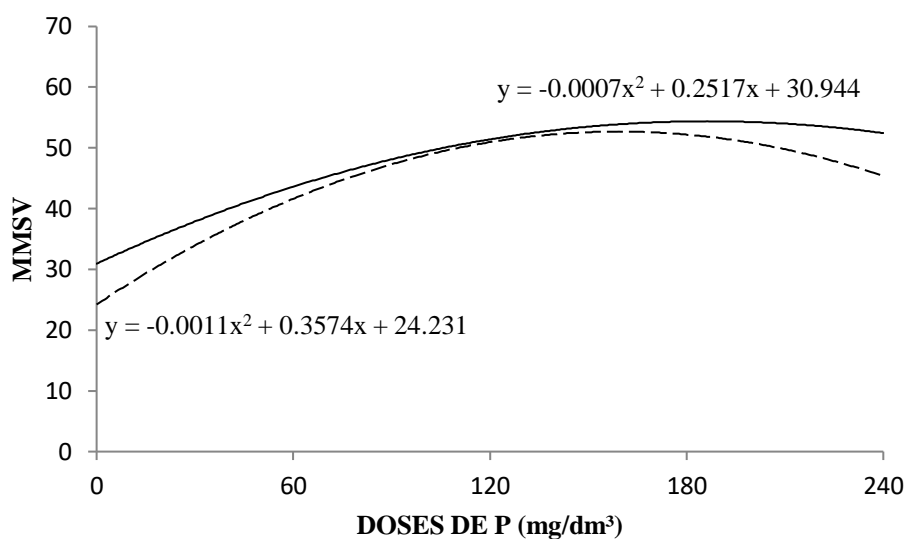
Figura 2 - Efeito das doses de fósforo e do bioestimulante Stimulate® na Massa Seca do Caule (MMSC) SE --- sem Stimulate® CE – com Stimulate®



Fonte: Autor, 2025.

A figura 2 referente à massa seca do caule (MMSC) está em conformidade com o que foi observado por Oliveira *et al.* (2007), que relatou aumento na massa seca de parte aérea de feijoeiro com a elevação das doses de fósforo, atingindo ponto máximo e posterior declínio, devido à possível saturação do sistema radicular e desequilíbrio na absorção de nutrientes. A massa seca do caule é uma variável diretamente ligada à capacidade de sustentação e transporte de nutrientes e fotoassimilados, e está fortemente influenciada pela atividade fotossintética e pelo crescimento radicular, ambos dependentes do suprimento adequado de fósforo (FAGERIA *et al.*, 2010).

Figura 3 - Efeito das doses de fósforo e do bioestimulante Stimulate® na Massa Seca da Vagem (MMSV) SE --- sem Stimulate® CE – com Stimulate®



Fonte: Autor, 2025.

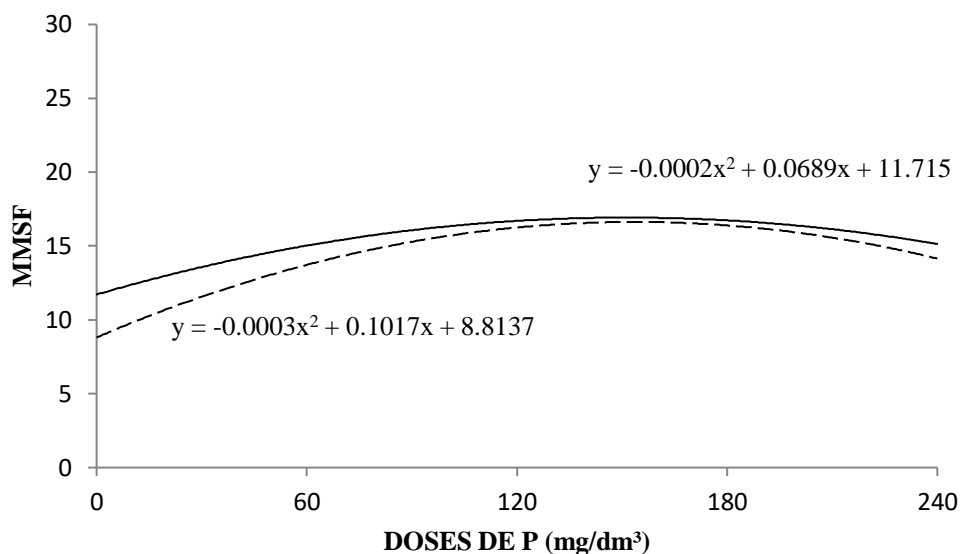
Na figura 3 referente à massa seca da vagem (MMSV), observou-se uma tendência de aumento no acúmulo de biomassa até a dose de 180 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Oliveira *et al.* (2001) observou que a aplicação de fósforo no feijoeiro proporcionou aumento na produção de vagens e massa seca total da parte aérea, com queda após o ponto ótimo, reforçando o comportamento de resposta quadrática do nutriente. Esse padrão indica que o fósforo, embora essencial para o desenvolvimento reprodutivo, apresenta limite fisiológico de absorção e utilização, além do qual os ganhos agrônômicos são reduzidos ou até mesmo negativamente afetados. Em níveis excessivos, pode haver competição com outros nutrientes, comprometendo o crescimento de estruturas como vagens (FAGERIA & BALIGAR, 2001).

O uso do Stimulate® pode ter contribuído para aumentar a eficiência da planta em translocar assimilados para os órgãos reprodutivos. Segundo Taiz *et al.* (2017), citocininas e giberelinas, presentes na composição de bioestimulantes, favorecem a formação de estruturas reprodutivas, atuando na indução floral, diferenciação celular e expansão dos tecidos da vagem.

Rocha *et al.* (2018) reforçou essa ideia ao demonstrarem que doses de fósforo entre 60 e 90 mg/dm<sup>3</sup> proporcionaram maiores acúmulos de biomassa reprodutiva no feijão-caupi, comportamento semelhante ao observado neste experimento com o feijoeiro comum, mesmo na ausência de significância estatística. A resposta positiva até certo ponto, seguida de estabilização ou queda, é uma característica comum de nutrientes móveis como o fósforo, que tendem a saturar os sistemas fisiológicos da planta quando aplicados em excesso (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

Figura 4 - Efeito das doses de fósforo e do bioestimulante Stimulate® na Massa Seca da Folha (MMSF) SE --- sem Stimulate® CE – com Stimulate®



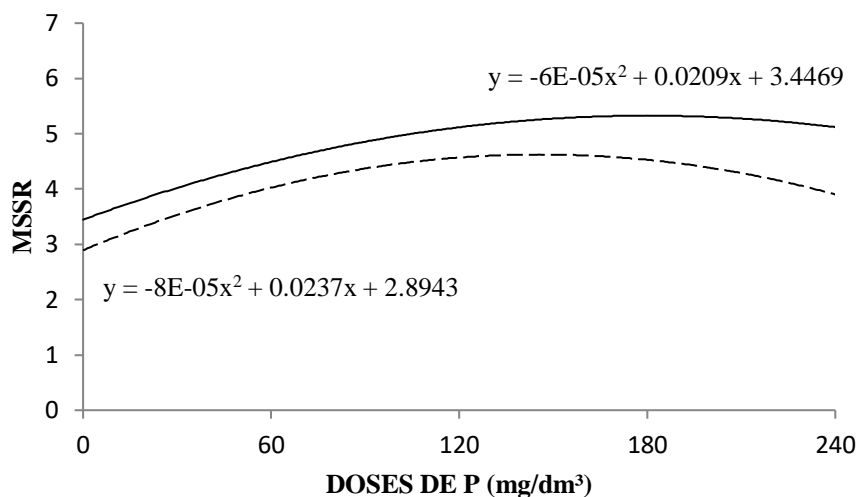
Fonte: Autor, 2025.

A figura 4 referente à massa seca da folha (MMSF) do feijoeiro revela uma tendência de aumento na produção de biomassa foliar com o incremento das doses de fósforo até 180 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, seguido de uma estabilização ou declínio na dose mais alta. Embora as diferenças não tenham sido estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ), a tendência visual sugere que o fósforo, em doses moderadas, pode ter favorecido o crescimento foliar, quando associado ao uso do bioestimulante.

O fósforo é um nutriente essencial para a fotossíntese, já que participa ativamente da formação de ATP, molécula responsável pelo armazenamento e transporte de energia na célula (MALAVOLTA *et al.*, 1997). O aumento da biomassa foliar, até certo ponto, está diretamente relacionado à maior capacidade fotossintética da planta, que por sua vez resulta no acúmulo de matéria seca. Fageria *et al.* (2010) observou que a aplicação de fósforo resulta em aumento no número de folhas e no tamanho das mesmas.

Por outro lado, o efeito do Stimulate®, que contém reguladores de crescimento como auxinas e giberelinas, pode ter atuado no aumento da área foliar e no crescimento das células, principalmente nas doses intermediárias de fósforo. Auxinas são conhecidas por promoverem o alongamento celular, enquanto as giberelinas influenciam a divisão celular e a mobilização de nutrientes (CALVO *et al.*, 2014). Dessa forma, o bioestimulante pode ter amplificado a resposta fisiológica ao fósforo, principalmente nas doses moderadas, onde as plantas tendem a apresentar maior eficiência no uso dos nutrientes.

Figura 5 - Efeito das doses de fósforo e do bioestimulante Stimulate® na Massa Seca da Raiz (MSSR) SE --- sem Stimulate® CE – com Stimulate®



Fonte: Autor, 2025.

A figura 5 referente à massa seca das raízes (MSSR) do feijoeiro demonstra um ajuste do modelo quadrático crescente com a aplicação das doses crescentes de fósforo, atingindo o pico na dose de 180 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O fósforo é um nutriente chave no desenvolvimento radicular, sendo essencial para a formação e ramificação das raízes. Ele contribui diretamente para o crescimento das células da raiz, aumentando a área de absorção e a eficiência na captação de água e nutrientes, como nitrogênio e potássio (FAGERIA & BALIGAR, 2001). Em doses moderadas, o fósforo estimula o crescimento das raízes, favorecendo o estabelecimento do sistema radicular e o incremento na eficiência da absorção de nutrientes. No entanto, em doses excessivas, a aplicação de fósforo pode afetar negativamente a morfologia das raízes, reduzindo a quantidade de ramificações e a profundidade radicular devido ao excesso de nutrientes (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

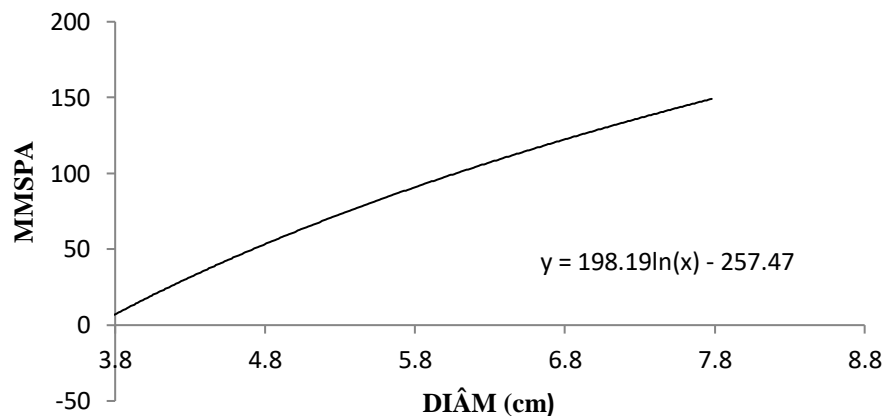
O uso do Stimulate® nas doses de fósforo pode ter potencializado o efeito do nutriente na formação das raízes. De acordo com Taiz *et al.* (2017), bioestimulantes podem favorecer o desenvolvimento do sistema radicular ao promoverem a divisão celular e o alongamento das células, principalmente em estádios iniciais do crescimento. Isso pode explicar o aumento observado na biomassa das raízes nas doses intermediárias de fósforo.

A resposta do feijoeiro ao fósforo seguiu um padrão semelhante, com tendência de resposta positiva até doses intermediárias (120-180 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), seguido de uma estabilização ou declínio em doses mais altas. Esse comportamento está de acordo com a Lei

dos Incrementos Decrescentes, que sugere que os ganhos marginais de produtividade tendem a diminuir à medida que se aumenta a quantidade de um insumo aplicado (BLACK, 1992).

Dessa forma, as doses de fósforo utilizadas neste estudo não estabeleceram uma eficiência máxima em uma única dose, mas indicaram um melhor desenvolvimento das plantas na faixa de 120 a 180 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Mesmo sem significância estatística, os resultados sugerem que a adubação fosfatada e o uso de bioestimulantes pode ter efeitos positivos no desenvolvimento do feijoeiro, especialmente em doses intermediárias.

Figura 6 – Modelagem utilizando as variáveis Diâmetro de Caule e Massa da Matéria seca da Parte Aérea do feijoeiro sob doses de fósforo e presença ou não do Stimulate®.



Fonte: Autor, 2025.

A Figura 6 apresenta a modelagem da relação entre o diâmetro médio do caule e a massa da matéria seca da parte aérea do feijoeiro, revelando uma correlação positiva entre essas duas variáveis. Observa-se que plantas com maior diâmetro de caule tendem a apresentar maior acúmulo de biomassa na parte aérea, o que inclui caule, folhas e vagens.

O diâmetro do caule está diretamente relacionado ao desenvolvimento estrutural e funcional da planta, uma vez que influencia a capacidade de sustentação, o transporte de água e nutrientes, e o fornecimento de fotoassimilados aos órgãos em crescimento. Segundo *Taiz et al.* (2017), o aumento da espessura do caule está associado à expansão dos tecidos vasculares, principalmente o xilema e o floema, que são responsáveis, respectivamente, pelo transporte da seiva bruta e da seiva elaborada. Assim, caules mais espessos favorecem a eficiência no transporte interno de recursos, promovendo maior desenvolvimento foliar, expansão da área fotossintética e, por consequência, maior acúmulo de massa seca. Esse padrão fisiológico é

consistente com as observações feitas por Fageria *et al.* (2010), que destacam que o fósforo, ao estimular a divisão e o alongamento celular, favorece tanto o crescimento radicular quanto o engrossamento caulinar, refletindo-se positivamente na fotossíntese e no crescimento vegetativo. Além disso, bioestimulantes, podem potencializar esse processo, atuando na diferenciação celular e no desenvolvimento dos tecidos condutores (CALVO *et al.*, 2014). O aumento do diâmetro também se relaciona com o acúmulo de massa seca nos órgãos reprodutivos, como as vagens, visto que estruturas caulinares mais robustas tendem a apresentar maior capacidade de suporte e de translocação de assimilados. Oliveira *et al.* (2001) e Rocha *et al.* (2018) relataram que o acúmulo de biomassa na parte aérea está correlacionado com maior produtividade, reforçando o papel do diâmetro do caule como indicador do potencial produtivo do feijoeiro. Dessa forma, a modelagem apresentada na (Figura 6), reforça a importância de variáveis morfológicas simples, como o diâmetro do caule, na estimativa do desempenho fisiológico e produtivo da planta. A correlação visual e o embasamento fisiológico indicam que o aumento do diâmetro é um reflexo direto de um ambiente nutricional e hormonal favorável.

O fósforo é essencial para o crescimento das plantas, onde sua aplicação favorece o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo até um ponto ótimo. No entanto, em doses excessivas, pode ocorrer saturação do sistema radicular e desequilíbrio nutricional, resultando em efeitos negativos ou neutros sobre o crescimento da planta. O uso do bioestimulante Stimulate®, por sua vez, pode ter potencializado a eficiência do fósforo, especialmente nas doses moderadas, sugerindo uma interação benéfica entre o bioestimulante e o nutriente para promover o crescimento radicular e a formação de estruturas reprodutivas. A modelagem entre o diâmetro do caule e a massa da matéria seca da parte aérea reforça essa tendência, demonstrando que o desenvolvimento estrutural está positivamente associado ao acúmulo de biomassa e ao desempenho fisiológico do feijoeiro.

## 5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que, embora o uso do bioestimulante Stimulate®, não tenha apresentado efeitos significativos nas variáveis analisadas, observou-se uma resposta positiva do feijoeiro à aplicação de fósforo até a dose de 180 mg/dm<sup>3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

No entanto, sugere-se a realização de novos estudos para verificar o efeito desses fatores no comportamento da cultura em condições de campo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. A. *et al.* Solo e nutrição na cultura do feijão. **Informações Agronômicas**, v. 161, p. 5–9, 2018.
- ALMEIDA, L. F. *et al.* Disponibilidade de fósforo em solos tropicais e resposta do feijoeiro à adubação. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 44, n. 3, p. 712–720, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/yMnrYsMZmzWcdz7HjPmB4mr/>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- ARAÚJO, S. F.; ALVES, A. C.; SOUSA, M. G. Influência do fósforo na absorção de nutrientes e acúmulo de biomassa no feijão. **Revista Brasileira de Nutrição Vegetal**, v. 14, p. 145-152, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbnsci/a/8z9Q7c9y9t7X9Z9Q9Z9Q9Z9/?lang=pt>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- BLACK, C. A. Soil-plant relationships. 2. ed. **New York: Wiley**, 1992.
- BORGES, W. L. B. *et al.* Produtividade do feijoeiro em função da adubação fosfatada e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 3, p. 180–186, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/4wXj6Xg5y4p5Y5z6X5z5X6X/?lang=pt>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- BUFFON, J. G. Fisiologia do feijoeiro e implicações para o manejo. **Revista Cultivar Grandes Culturas**, v. 25, n. 295, p. 32–36, 2022.
- BUFFON, J. G. Reguladores de crescimento: papel no desenvolvimento das culturas. **Revista Cultivar Grandes Culturas**, v. 27, n. 318, p. 30–34, 2023.
- CALVO, G. P.; JONES, A. P.; SINGER, L. E. Bioestimulantes e sua aplicação em culturas agrícolas. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 33, p. 1-10, 2014.
- CALVO, P.; CARVAJAL, M.; GÓMEZ, S. Bioestimulantes para as plantas. **Revista Científica de Agricultura**, v. 28, p. 45-52, 2014.
- CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, p. 3–41, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-014-2131-8>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- CARVALHO, E. R. *et al.* Eficiência de bioestimulantes no cultivo do feijão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, e68291, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/7z8y9Xq6V7v7X9z9y9z9X9/?lang=pt>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- CASILLAS, J.; DURHAM, D. R.; PETERS, E. J. Hormone effects on soybean growth and yield. **Agronomy Journal**, v. 78, n. 3, p. 606–608, 1986. Disponível em: <https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/78/3/606>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- CASTELLANE, P. D. *et al.* O feijoeiro: aspectos morfológicos e fisiológicos. Campinas: **Fundação Cargill**, 1988.
- CASTRO, A. M. E.; VIEIRA, C. Melhoramento genético do feijoeiro. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 75–83, 2001.

CUNHA, M. F. *et al.* Sustentabilidade no cultivo do feijão: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 2, p. 2514–2526, 2018. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20183101488>. Acesso em: 24 jul. 2025.

DOURADO NETO, D. *et al.* Aplicação de reguladores vegetais na agricultura: potencialidades e limitações. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 106, p. 1–6, 2004.

DUTRA, P. F.; ALMEIDA, J. F.; COSTA, R. F. Crescimento vegetativo do feijoeiro com doses crescentes de fósforo em diferentes condições de umidade do solo. **Revista Ciência e Tecnologia Agropecuária**, v. 11, n. 1, p. 20-24, 1995.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2018. 59 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1085830/1/CNPAF2018lvfeijoeiro.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivar BRS Estilo: Feijão-carioca resistente a doenças**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1123223/cultivar-brs-estilo-feijao-carioca-resistente-a-doencas>. Acesso em: 05 mai. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Feijão: importância nutricional. Brasília: **Embrapa**, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1234567/feijao-importancia-nutricional>. Acesso em: 05 mai. 2025.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Response of legumes to phosphorus in tropical soils. In: **Fertilization and Plant Nutrition**. New York: Springer, 2001. p. 122-129.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Efeito do fósforo no crescimento e no acúmulo de matéria seca em plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 537-542, 2001.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; GAYNOR, J. D. Mineral nutrition of beans. **The Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 1, p. 1-10, 2010.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. Growth and mineral nutrition of field crops. 2. ed. New York: **Marcel Dekker**, 2003.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A. R.; SANTOS, A. B. Efeito do fósforo no crescimento e no acúmulo de matéria seca de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 119-124, 2010.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: Sistema de Análise de Variância. Versão 5.6. Lavras: **Universidade Federal de Lavras**, 2015. Disponível em: [https://www.ufla.br/pgccv/sites/default/files/SISVAR\\_5.6\\_manual.pdf](https://www.ufla.br/pgccv/sites/default/files/SISVAR_5.6_manual.pdf). Acesso em: 05 mai. 2025.

GARCIA, R. A. *et al.* Efeitos da adubação fosfatada sobre a produtividade do feijoeiro comum. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0190092, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jdsci/a/8Y5r5p5z5Cz5J5R5t5Y5X5/?lang=pt>. Acesso em: 24 jul.

2025.

GOMES, D. P. *et al.* Efeito de bioestimulantes no desenvolvimento do feijoeiro comum. **Revista Agro@ambiente**, v. 12, n. 3, p. 199–207, 2018. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstreams/458e7fdb-1b3d-45d9-b158-0f412b3e03eb/download> Acesso em: 25 abr. 2025.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados meteorológicos de São João Evangelista** – MG. Brasília, 2023. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/MG/83692> . Acesso em: 24 jul. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA: Abril de 2024. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457> . Acesso em: 15 mai. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. São João Evangelista – MG: **panorama municipal**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sao-joao-evangelista/panorama> . Acesso em: 22 mai. 2025.

KLAHOLD, C. A. *et al.* Bioestimulantes na agricultura. **Informativo Técnico da Fundação ABC**, v. 3, n. 2, p. 1–4, 2006.

KOPP, R.; MARTINS, M. R.; SILVA, A. F. Aplicação de bioestimulantes na agricultura: avanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, n. 2, e6550, 2022. Disponível em: <https://agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v17n2a6550> . Acesso em: 24 jul. 2025.

KÖPPEN, W. Climatologia: con base en los tipos climáticos. México: **Fondo de Cultura Económica**, 2010. 479 p.

LANA, M. C. *et al.* Efeito de reguladores de crescimento no desenvolvimento e produtividade de feijão. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 2, p. 285–292, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n2p285>. Acesso em: 24 jul. 2025.

LIMA, A. L. S. *et al.* Doenças do feijoeiro: identificação e manejo. **Revista Brasileira de Fitopatologia**, v. 42, n. 3, p. 289–296, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/fb/a/XGmRxHmnvbbMTq77WQZ56Fs/?lang=pt> . Acesso em: 24 jul. 2025.

LIMA, D. F. *et al.* Bioestimulantes e a produtividade das culturas: perspectivas e desafios. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 39, n. 1, p. 10–16, 2018. Disponível em: <https://agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v17n3a6550> . Acesso em: 24 jul. 2025.

LIMA, M. L.; SANTOS, D. C.; COSTA, S. M. Uso de bioestimulantes no aumento do diâmetro do caule de plantas de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 2, p. 156-162, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/322080352\\_Uso\\_de\\_bioestimulantes\\_no\\_crescimento\\_de\\_plantas\\_de\\_soja](https://www.researchgate.net/publication/322080352_Uso_de_bioestimulantes_no_crescimento_de_plantas_de_soja) Acesso em: 24 jul. 2025.

LIMA, R. A. *et al.* Desenvolvimento radicular de leguminosas em função da disponibilidade

de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. 1–7, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/8h9t4g9d7r9Y7r5t8t9Y7t9/?lang=pt>. Acesso em: 24 jul. 2025.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: **Potafos**, 2014. Disponível em: <https://www.editorapotafos.com.br/livros/avaliacao-do-estado-nutricional-das-plantas>. Acesso em: 15 mai. 2025.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 3. ed. London: **Academic Press**, 2012.

MATTOS, R. S. *et al.* Fontes e formas de aplicação de fósforo no cultivo de feijão. **Revista Agro@mbienteOnline**, v. 14, n. 1, p. 60–68, 2020. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/10190>. Acesso em: 24 jul. 2025.

MEJÍA, L. A. Beans and human health: a contribution to the international year of pulses. **Agriculture**, v. 6, n. 3, p. 33, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/6/3/33>. Acesso em: 24 jul. 2025.

MILLÉO, J. Q. Aplicação de bioestimulantes na cultura da soja. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)** – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2000.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Bioinsumos: conceitos e definições**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos>. Acesso em: 24 jul. 2025.

OLIVEIRA, A. C.; LIMA, L. S.; CAVALCANTI, M. D. Efeito de doses crescentes de fósforo no crescimento do feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 2, p. 91-95, 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/205525/1/pat31n1oliveira.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2025.

OLIVEIRA, A. J.; SILVA, E. A.; FERRARI, G. F. Influência do fósforo no crescimento e produtividade do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 345-352, 2001.

OLIVEIRA, E. C.; MOURA, S. S.; SILVA, J. D. Efeito da adubação fosfatada no crescimento vegetativo do feijoeiro em solos tropicais. **Revista Brasileira de Agricultura**, v. 4, n. 3, p. 110-115, 2001.

OLIVEIRA, E. J.; SOUZA, A. P.; MARTINS, M. T. Efeito das doses de fósforo no crescimento e produtividade do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 301-307, 2001.

OLIVEIRA, L. F. C. de *et al.* Fenologia do feijoeiro: fases vegetativa e reprodutiva. Embrapa. Brasília, DF: **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2023.

PELÁ, A. *et al.* Agricultura sustentável: o papel do feijão na segurança alimentar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 1, p. 1–8, 2020. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/3607>. Acesso em: 24 jul. 2025.

- RIBEIRO, G. M. *et al.* Estratégias para o uso eficiente de fósforo na agricultura tropical. **Informações Agronômicas**, n. 172, p. 1–6, 2020. Disponível em: [https://www.npct.com.br/publication/IASite.nsf/0/0D9F4E6A5F8A4A7D032585A7004E2F3/\\$FILE/IA-172.pdf](https://www.npct.com.br/publication/IASite.nsf/0/0D9F4E6A5F8A4A7D032585A7004E2F3/$FILE/IA-172.pdf). Acesso em: 24 jul. 2025.
- ROCHA, E. F.; COSTA, L. L.; SILVA, A. L. Efeito das doses de fósforo no acúmulo de biomassa do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 13, p. 45-52, 2018.
- ROCHA, L. F.; SOUZA, F. R.; LIMA, R. C. Efeito das doses de fósforo na biomassa e produtividade do feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 7, p. 819-826, 2018.
- ROCHA, L. M.; SILVA, J. L.; PEREIRA, A. T. Efeito das doses de fósforo no acúmulo de biomassa do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Agropecuária**, v. 54, p. 200-208, 2018.
- SALVADOR, J. C. Condições climáticas ideais para o feijão. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n. 1, p. 1–5, 2014. Disponível em: <https://acsa.revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- SANTOS, L. C. Efeitos de reguladores de crescimento vegetal em culturas agrícolas. **Tese (Doutorado em Fitotecnia)** – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004. Disponível em: <https://locus.ufv.br>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- SANTOS, H. G. dos; OLIVEIRA, J. B. de. Importância do fósforo na fertilidade de solos tropicais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2021. 34 p.
- SILVA, A. G. *et al.* Manejo integrado de doenças do feijoeiro. **Revista de Agricultura**, v. 91, n. 1, p. 45–52, 2016.
- SILVA, D. A. *et al.* Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em diferentes estágios de desenvolvimento. **Revista Ceres**, v. 68, n. 2, p. 123–130, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- SILVA, D. A. *et al.* Resposta fisiológica de culturas ao uso de bioestimulantes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, n. 1, p. 78–84, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/i/2020.v50/>. Acesso em: 24 jul. 2025.
- SILVA, F. C. *et al.* Reguladores vegetais no desenvolvimento de culturas agrícolas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 4, p. 390–396, 2008.
- STOLLER. **Stimulate®**: Bioestimulante para crescimento e desenvolvimento de plantas. 2020. Disponível em: <https://www.stoller.com.br/produtos/fisiologicos/stimulate/>. Acesso em: 20 abr. 2025.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- VIEIRA, R. F. *et al.* Exigências edafoclimáticas do feijoeiro: estratégias para o cultivo sustentável. **Embrapa Arroz e Feijão**, Documentos 309, 2020. Disponível em: <https://www.escavador.com/sobre/4630738/rogerio-faria-vieira>. Acesso em: 24 jul. 2025.

VIEIRA, R. F. *et al.* Principais doenças da cultura do feijão e seu controle. **Circular Técnica da Embrapa**, n. 124, 2019. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1127221>. Acesso em: 24 jul. 2025.

YAKHIN, O. I. *et al.* Biostimulants in plant science: a global perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 2049, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>. Acesso em: 05 mai. 2025.

ZIMMERMANN, F. J. P.; TEIXEIRA, M. G. Feijão: aspectos gerais da cultura. In: EMBRAPA-CNPQ. **Tecnologia de produção de feijão**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 1996. p. 13–42. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1127221>. Acesso em: 24 jul. 2025.

## APÊNDICE A - ANÁLISES ESTATÍSTICAS DAS VARIÁVEIS AVALIADAS

Quadro 1A - Resumo da análise de variância de clorofila mediação 1 (CLF1), (CLF2), (DIAM1), (DIAM2), (MMSR), (MMSV), (MMSPA), (MMST), (PA-SR), (IC-MMSV), obtidos no experimento em feijão submetidos a aplicação de stimulate e doses de fósforo. São João Evangelista-MG, 2025.

Quadrados Médios

FV	GL	CLF 1	CLF 2	DIAM 1	DIAM 2	MMSR	MMSV	MMSF	MMSV	MMSPA	MMSV	PA-SR	IC-MMSV
BLO C	3	0,24	0,52	0,11	0,21	20,29	269,3	236,57	2373,9	5735,0	6430,1	0,718	0,046
S	1	0,07 <sup>NS</sup>	0,014 <sup>NS</sup>	0,011 <sup>NS</sup>	0,044 <sup>NS</sup>	5,12 <sup>NS</sup>	52,0 <sup>NS</sup>	14,28 <sup>NS</sup>	135,3 <sup>NS</sup>	511,9 <sup>NS</sup>	619,52 <sup>NS</sup>	0,098 <sup>NS</sup>	0,017 <sup>NS</sup>
P	4	0,03 <sup>NS</sup>	0,147 <sup>NS</sup>	0,059 <sup>NS</sup>	0,064 <sup>NS</sup>	4,44 <sup>NS</sup>	107,7 <sup>NS</sup>	87,77 <sup>NS</sup>	1307,4 <sup>NS</sup>	3055,4 <sup>NS</sup>	3279,9 <sup>NS</sup>	0,231 <sup>NS</sup>	0,033 <sup>NS</sup>
S x P	4	0,05 <sup>NS</sup>	0,176 <sup>NS</sup>	0,015 <sup>NS</sup>	0,073 <sup>NS</sup>	9,27 <sup>NS</sup>	164,9 <sup>NS</sup>	200,57 <sup>NS</sup>	659,5 <sup>NS</sup>	2705,8 <sup>NS</sup>	3014,4 <sup>NS</sup>	0,310 <sup>NS</sup>	0,012 <sup>NS</sup>
Resíduo	27	0,034	0,152	0,026	0,059	5,18	123,2	124,51	794,2	2388,3	2591,3	0,398	0,011
CV %		2,71	5,59	6,68	9,38	52,39	69,39	77,12	63,02	65,00	64,00	15,08	19,95

\*Significativo a 5%, \*\* significativo a 1% e NS não significativo pelo teste F.