

# Revista Científica

FACULDADE ATENAS- PARACATU-MG

Ano 2024, V.17, N.1



## IMPORTÂNCIA DO ENXOFRE PARA CULTURA DO FEIJÃO

Rafael Da Silva Araújo  
Irtes Aparecida Barros Oliveira  
Douglas Gabriel Pereira  
Camila Isabel Pereira Rezende  
Ynglety Cascaes Pereira Matos

### RESUMO

O feijão cultivado em diferentes sistemas de produção com ciclo inferior a 100 dias é uma excelente opção para a entressafra na região do Brasil. Contudo, as recomendações de fertilização para culturas altamente técnicas ainda são um desafio. O objetivo deste trabalho foi conseguir determinar o ponto de maturidade fisiológica das sementes de feijão com relação a importância e o nível de adubação foliar à base de enxofre. A metodologia foi de cunho bibliográfico, onde foram realizadas pesquisas em artigos já existentes. Os resultados sugerem que em culturas altamente técnicas o rendimento pode ser limitado pelo baixo uso de enxofre. Com isso, na fisiologia vegetal, as limitações de nitrogênio (N) ou enxofre (S) se manifestam no ponto de convergência das vias de assimilação, causando acúmulo ou deficiência de produtos sintetizados. Desta forma o uso contínuo da terra para a agricultura, tem havido e reduzindo o nível de elementos no solo.

**Palavras-chave:** Enxofre. Feijão. Cultura. Técnicas. Fisiologia Vegetal.

### ABSTRACT

*Beans grown in different production systems with a cycle of less than 100 days are an excellent option for the off-season in the Brazilian region. However, fertilization recommendations for highly technical crops are still a challenge. The objective of this work was to determine the physiological update point of bean seeds in relation to the importance and level of sulfur-based foliar fertilization. The methodology was bibliographic in nature, where research was carried out on existing articles. The results suggest that in highly technical crops yield may be limited by low sulfur use. Therefore, in plant physiology, nitrogen (N) or sulfur (S) limitations manifest themselves at the point of convergence of assimilation pathways, causing accumulation or deficiency of synthesized products. In this way, the continued use of land for agriculture results in a reduction in the level of elements in the soil.*

**Keywords:** Sulfur. Bean. Culture. Techniques. Plant Physiology.

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão é uma leguminosa considerada um alimento básico e tradicional para todos os estados brasileiros, principalmente por ser um dos mais utilizados pela população de baixa renda no Brasil (TOLEDO et al., 2009).

Rios et al. (2023) acrescentam que o feijão possui diversas qualidades nutricionais com alta teor de lisina que complementa as proteínas do grão, fibra, e as vitaminas do complexo B e carboidratos complexos.

As sementes, como atributo essencial para suas respectivas lavouras, demandam uma alta qualidade fisiológica para garantir alta germinação ou emergência, bem como a população inicial no campo (LOPES; ALEXANDRE, 2021).

Para colher sementes de alta qualidade é necessário conhecer cada estágio das sementes, desde de o plantio até a maturação da semente. Para isso as flores devem ser marcadas na antese, colheita periódica de vagens, frutos e sementes para determinação do teor de água, tamanho, forma, cor, teor de matéria seca, germinação e vitalidade (NAKAGAWA, 2022).

O ponto fisiológico de amadurecimento é caracterizado por uma inibição do transporte de nutrientes da planta mãe para a semente (LOPES; ALEXANDRE, 2021).

A colheita precoce de sementes de feijão comum pode levar à obtenção de sementes de qualidade fisiológica inferior devido à formação incompleta de suas estruturas, propriedades físicas e bioquímicas, o que resulta principalmente em baixa qualidade do material relacionado com o processo de deterioração e redução da vitalidade resultando em sementes, o que representará menor crescimento no campo culminando em baixa produção vegetal (COLLI e PURGATTO, 2018).

Além da semente de alta qualidade fisiológica, outros fatores também desempenham um papel na produção de uma cultura como a adubação de plantas consideradas prática necessária para o seu crescimento e, se bem feito, possibilita nutrição e seu desenvolvimento (MALAVOLTA, 2016).

Os estudos já desenvolvidos para determinar a nutrição adequada, a possibilidade de uso de adubação foliar, que examina a capacidade das folhas de absorver nutrientes (COLLI e PURGATTO, 2018). No entanto, é preciso estar atento limitação desta prática; não substitui a adubação de fertilizantes no solo, mas apenas um suplemento nutricional (CAMARGO et al., 2018).

A absorção de nutrientes da solução utilizada para fertilização a folhagem é afetada pelas condições ambientais presentes na área de cultivo fatores relacionados com as folhas, a mobilidade dos elementos e o modo de preparo da solução (CAMARGO et al., 2018).

Assim, no que diz respeito ao caso da produção de sementes alta qualidade fisiológica, um produtor de sementes que respeita todas essas peculiaridades podem alcançar melhoria em sua produção (NAKAGAWA, 2022).

Em relação ao enxofre (S), embora não seja assunto de interesse da maioria dos programas de fertilização, plantas deficientes em S podem limitar a produtividade cultural. É o terceiro nutriente mais equilibrado pelo feijão, que são 1.000 kg de grãos exportados aproximadamente 5,4 a 6,0 kg de S, representando cerca de 20-25% da quantidade absorvida, quando há uma limitação na entrega de S, use especialmente altas doses de outros nutrientes (CAMARGO et al., 2018).

A principal fonte de S para as plantas é a matéria orgânica do solo. Em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica ou em áreas com histórico de aplicação de preparações, sem ou com baixa concentração de S, pode ocorrer deficiência desse nutriente devido à produção contínua de grãos sem reposição adequada da quantidade retirado do solo (LOPES; ALEXANDRE, 2021).

## **2 CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA DO FEIJÃO**

Devido à baixa mobilidade do enxofre no floema, as leguminosas comuns requerem um fornecimento constante desse nutriente para seu desenvolvimento e produção de grãos. A forma de S presente na solução do solo e também absorvida pelas plantas é o ânion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), que tende a se acumular em camadas abaixo de 20 cm de profundidade, são considerados adequados e neste caso a aplicação de 15 kg/ha de enxofre é o suficiente para substituir as exportações por uma safra (NAKAGAWA, 2022).

O teor de enxofre no solo é considerado baixo quando a média de ambas as camadas é inferior a 4 mg/dm<sup>3</sup>, sendo recomendada a aplicação de 30 kg/ha. O S pode ser fornecido com a aplicação de superfosfato simples, sulfato de amônio, gesso, polihalita ou outros fertilizantes enriquecidos com nutrientes, na forma de sulfato ou elementar.

O feijão comum pertence à classe: *Eudicotyledoneae*, a família: *Fabaceae*, do gênero: *Phaseolus L.*, que vem do continente americano e possui cerca de 55 espécies, cinco delas são cultivadas: *P. vulgaris L.*, *P. lunatus L.*, *P. acutifolius A. Gray var. latifolius Freeman* e *P. polynthus Greenman*. Entre eles, o gênero mais comum de feijão comum é (*Phaseolus vulgaris L.*) economicamente o mais importante por ser plantado em maior quantidade no mundo (SANTOS Et al., 2015).

Em palavras mais populares temos no mercado os seguintes feijões: Carioca; Manteiga; Preto; Roxo; Rosinha; Vermelho; Branco; Recozido; Mulato. É uma importante leguminosa alimentícia para consumo humano, pois ela é uma das fontes mais importantes de proteína na dieta. O máximo de cultivares representa aproximadamente 20 a 25% da proteína bruta que é formada principalmente aminoácidos essenciais, como leucina, valina, triptofano, isolécita e lisina, além de ser rico em ferro e carboidratos (MOURA e BRITO, 2015).

O feijão comum é uma erva, trepadeira ou não, representa ciclo biológico relativamente curto, entre 60 e 110 dias, dependendo das características cultivares e temperatura ambiente. Apesar de sua ampla adaptação e distribuição áreas geográficas, o feijão não é muito tolerante a fatores ambientais extremos, ele se adequa a temperaturas de revelação entre 15 e 29 °C e de 300 a 500 mm água bem distribuída ao longo do ciclo, que é mais exigente em floração, formação de vagens e enchimento. Pode ser cultivada em solos que textura de areia clara a argila pesada, porém é um uma cultura muito sensível à compactação do solo que pode sofrer perdas de até 75% produtividade (ANDRADE et al., 2021).

Em relação aos requisitos de fatores químicos do solo, o feijão requer programa de manejo de calagem e adubação para permitir expressão genética máxima de cultivares porque a maioria dos solos os brasileiros são caracterizados pela alta acidez, altos teores de alumínio trocável e baixo disponibilidade de nutrientes (MOURA e BRITO, 2015).

Um pé de feijão consiste em um eixo principal, uma seção transversal cilíndrica e com um certo ângulo. Consiste em uma sequência de nós e entrenós, com o número variando de acordo com o hábito de crescimento (TÁVORA e DINIZ, 2006). O primeiro nó ocorre quando os cotilédones são inseridos, o segundo corresponde as folhas primárias e a terceira das primeiras folhas triplas e assim por diante.

As gemas nascem nas axilas da inserção das folhas com o caule, que podem ser vegetativos, que vêm dos ramos; florais, que produzem inflorescências; ou misto qual pode diferir de qualquer uma das anteriores.

As folhas primárias são simples, opostas e temporárias enquanto as folhas definitivas são compostas, constituídas por três folíolos, classificados como pinadastrifoliadas (trifolioladas), com arranjo alternado, sendo um central ou terminal, simétrico e os outros dois são laterais, opostos e assimétricos. Sua superfície abaxial é a mais concentrada parte dos estômatos (TÁVORA e DINIZ, 2006).

As folhas são compostas por as seguintes partes: estípulas, que têm a função de proteger as gemas axilares na juventude; o pecíolo, que se assemelha a um caule e é a ponte entre a lâmina foliar e tronco; ráquis, onde se inserem os folhetos; pulvínulos são a base do pecíolo e possuem a função de criar movimento foliar para melhor absorção de luz (SANTOS et al. al., 2023).

As flores são agrupadas em inflorescências axilares do tipo racemo (de hábito crescimento indeterminado) e uma proporção terminal (em um hábito determinado) que nascem de axilas das folhas. Cada flor tem uma bráctea e duas brácteas na base haste floral, caracterizada como papilionada. Eles representam o copo verde, coroa gamossépala e quádrupla. Uma característica que distingue plantas de o gênero *Phaseolus*, de seus gêneros próximos *Vigna* e *Dolichos* é o ápice da quilha que é enrolado em espiral, enquanto os outros dois têm uma quilha curva, mas não desmoronam.

O androceu é formado por nove estames soldados na base e um livre, denominados irritar O gineceu tem um ovário longo, superior, unicarpelar e pluriovulado; caneta é curvo e o estigma é lateral, terminal. Quanto à coloração, as flores podem ser branco, amarelado, rosa ou roxo, conforme o grupo a que pertence (TÁVORA e DINIZ, 2006). É uma planta autógama com uma taxa de cruzamento natural cerca de 2% porque as anteras estão no mesmo nível do estigma e cercadas quilha, um mecanismo natural que promove a autopolinização.

O fruto é uma leguminosa, deiscente, constituída por duas valvas ligadas por duas suturas, uma dorsal e outra ventral; a forma pode ser reta, arqueada ou curva e ápice, íngreme ou afilado, arqueado ou reto. A cor depende das características da cultivar, podem ser uniformes ou apresentar estrias e podem variar com o grau de maturidade que se dividem em três tipos: seca, que tem fibras muito fortes e

deiscência repentina; coriáceo, não separando totalmente as válvulas; e carnuda, que não possui fibras e quase não há deiscência (TÁVORA e DINIZ, 2006).

A semente é exalbuminada, as reservas nutricionais são concentradas em cotilédones. Nas cultivares mais comuns, as sementes são em forma de rim e podem variar de muito pequeno (<20 g/100 sementes) a grande (>40 g/100 sementes). Elas são formadas externamente pelo hilo, micrópila, rafe e tegumento, que representam a variabilidade de cores com que distinguem as classes comerciais; internamente, de embrião formado por plúmula, duas folhas primárias, hipocótilo, dois cotilédones e radícula (TÁVORA e DINIZ, 2006).

O sistema radicular do feijão é dividido em quatro classes, a saber, primária, basal, adventícia e lateral. Os basais aparecem cerca de três dias após a absorção da semente. As raízes adventícias aparecem entre 10 e 12 dias após o início da germinação e são mais superficiais e longas, responsáveis por grande parte da absorção de fósforo no solo na fase jovem da planta. As raízes basais emergem na zona faixal, crescendo em forma de tetraedro e variando de dois a oito pares, formam a maior parte do sistema radicular (SANTOS et al. al., 2023).

## Escala Fenológica do Feijão

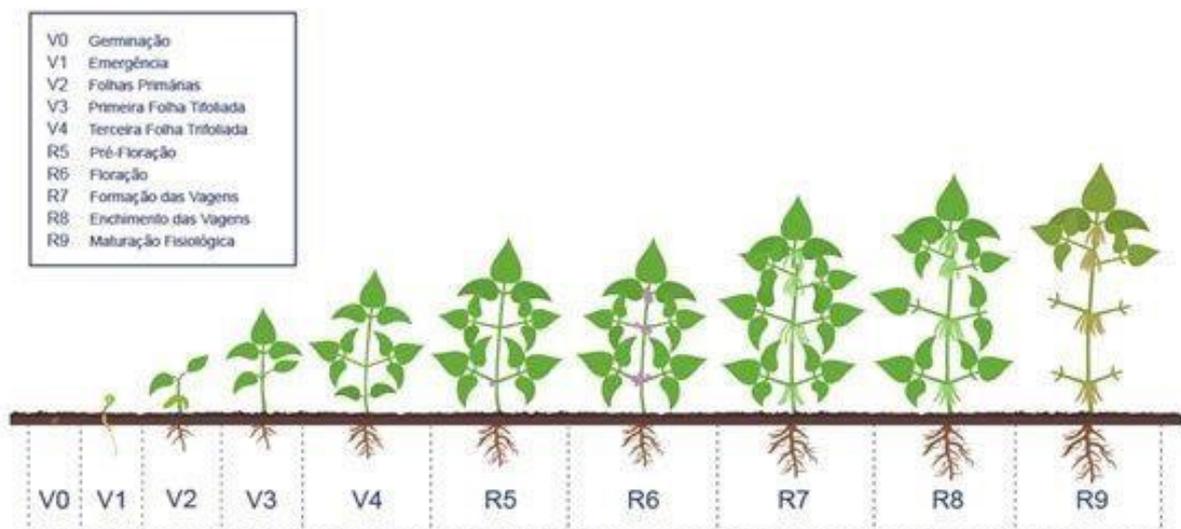


Figura 1- Escala Fenológica do Feijoeiro

Fonte: ELEVAGRO, 2023.

Mediante a imagem acima percebe-se que a raiz primária já se origina da raiz presente no embrião da semente, isso representa um gravitropismo muito forte e

representa cerca de 10% do sistema radicular da planta. Crescimento do sistema a raiz é acentuada com disponibilidade suficiente de fósforo no solo que subsequentemente, suporta o crescimento de raízes laterais e pelos radiculares principalmente responsável pela agregação de bactérias fixadoras de nitrogênio e a liberação de compostos orgânicos que disponibilizam o fósforo fixado no solo (SANTOS et al. al., 2023).

Em geral, o sistema radicular é pouco ramificado e relativamente superficial, pode atingir uma profundidade de até 50 cm. Portanto, o dispositivo tem uma baixa eficiência em absorção de água e nutrientes e baixa competitividade com plantas invasoras, podem sofrer perdas significativas de produtividade dependendo

Procedimento aceito. Portanto, é uma cultura exigente em solos férteis e requer investimento no manejo da adubação para manter os nutrientes próximos raízes, em quantidade suficiente e no tempo certo (TÁVORA e DINIZ, 2006).

O feijão então é uma planta autógama com uma taxa de cruzamento natural cerca de 2% porque as anteras estão no mesmo nível do estigma e cercadas quilha, um mecanismo natural que promove a autopolinização (SANTOS et al. al., 2023).

O fruto é uma leguminosa, deiscente, constituída por duas valvas ligadas por duas suturas, uma dorsal e outra ventral; a forma pode ser reta, arqueada ou curva e ápice, íngreme ou afilado, arqueado ou reto. A cor depende das características da cultivar, podem ser uniformes ou apresentar estrias e podem variar com o grau de maturidade que se dividem em três tipos: seca, que tem fibras muito fortes e deiscência repentino; coriáceo, não separando totalmente as válvulas; e carnuda, que não possui fibras e quase não há deiscência (TÁVORA e DINIZ, 2006).

A semente é exalbuminada, as reservas nutricionais são concentradas em Cotilédones. Nas cultivares mais comuns, as sementes são em forma de rim e podem varia de muito pequeno (<20 g/100 sementes) a grande (>40 g/100 sementes). Eles são formado externamente pelo hilo, micrópila, rafe e tegumento, que representa um a variabilidade de cores com que distinguem as classes comerciais; internamente, de embrião formado por plúmula, duas folhas primárias, hipocótilo, dois cotilédones e radícula (TÁVORA e DINIZ, 2006).

Seu sistema radicular é dividido em quatro classes, a saber, primária, basal, adventícia e lateral. Os basais aparecem cerca de três dias após a absorção semente. As raízes adventícias aparecem entre 10 e 12 dias após o início da germinação e são

mais superficiais e longos, responsáveis por grande parte absorção de fósforo no solo na fase jovem da planta. As raízes basais emergem na zona axiais, crescendo em forma de tetraedro e variando de dois a oito pares, formam a maior parte do sistema radicular.

A raiz primária já se origina da raiz presente no embrião da semente, isso representa um gravitropismo muito forte e representa cerca de 10% do sistema radicular da planta. Crescimento do sistema a raiz é acentuada com disponibilidade suficiente de fósforo no solo que subsequentemente, suporta o crescimento de raízes laterais e pelos radiculares principalmente responsável pela agregação de bactérias fixadoras de nitrogênio e a liberação de compostos orgânicos que disponibilizam o fósforo fixado no solo (SANTOS Et al., 2023).

O feijão comum possui quatro grupos de hábitos de crescimento e tem um importância em sua distinção para a descrição de cultivares. Sua avaliação é baseada nas características das cultivares, sendo a principal delas o hábito de floração que pode ser definido ou indefinido, mas outras características são analisadas como o número de nós e o comprimento dos entrenós do caule principal, além ramificação lateral e trepadeira da planta (SANTOS Et al., 2023).

No grupo denominado por Santos Et al. (2023): "hábito de crescimento tipo I" tais plantas são selecionadas eles têm um crescimento firme e espesso, o caule principal é poucos ramificado, menor, o ciclo geralmente é prematuro, o período de floração é encurtado e o amadurecimento das vagens é uniforme.

Quando se trata de plantas do grupo, Santos Et al. (2023): "hábito de crescimento tipo II", elas têm um caule principal ereto e espesso, geralmente com 12 nós, poucos e curtos ramos laterais. Para que as plantas agrupadas em Santos Et al. (2023): "hábito de crescimento tipo III", têm crescimento indeterminado, são plantas rasteiras ou semi-rastejantes com grande número de plantas bem ramificadas desenvolvida e aberta, possui um longo período de floração (15 a 20 dias) e grande irregularidade no amadurecimento das vagens. Plantas pertencentes ao grupo, Santos Et al. (2023): "hábito de crescimento tipo IV", têm hábito de crescimento indeterminado, grande capacidade de escalada, seu caule tem forte predominância apical e a haste principal pode atingir dois a três metros, com 20 a 30 nós e floração duram semanas, e é possível observar desde as flores até as vagens maduro Santos Et al. (2023).

### **3 VITALIDADE DA SEMENTE ATRAVÉS DA ADUBAÇÃO DO ENXOFRE**

O enxofre é considerado um macronutriente essencial secundário na nutrição plantas que são necessárias em quantidades suficientes para a manutenção metabolismo vegetal (MARSCHNER, 2012). As plantas absorvem o enxofre na forma sulfato aniônico e a principal fonte desse elemento é a matéria orgânica solo (RAIJ, 2021).

Plantas que são nutricionalmente deficientes em enxofre, demonstraram efeitos deletérios em seu metabolismo devido à interrupção da síntese de proteínas, o que resulta em mau desenvolvimento radicular e diminuição do teor de clorofila (MALAVOLTA; MORAES, 2017).

A importância deste nutriente está relacionada com a formação e crescimento radiculares; atividade enzimática e produção de óleos e gorduras (PRADO, 2008). E a aplicação de doses suficientes de enxofre promoveu o aumento do verdor das folhas porque são um dos componentes das ferredoxinas e tioredoxinas, proteínas que desempenham um papel na fotossíntese e na síntese de clorofila (MALAVOLTA, 2016). A atividade do enxofre também inclui a participação em Redução de  $SO_4$  dóise  $NO_3$  e reações de oxidação-redução da fotossíntese (MALAVOLTA, 2016).

A localização do enxofre em uma planta é principalmente em proteínas. Entre dos vinte aminoácidos existentes, quatro possuem radical enxofre em sua estrutura química, nomeadamente cistina, cisteína, metionina e taurina. Esses aminoácidos são formados proteínas que são abundantes na planta (RAIJ, 2021).

Os aminoácidos que possuem enxofre em sua estrutura incluem a metionina merece destaque na qualidade fisiológica de sementes por estar associada ao processo germinação de sementes e desenvolvimento de mudas por ser um aminoácido precursor intermediário de etileno. A metionina é convertida em Sadenosilmetionina, que é convertido em 1-amino-ciclopropano-1-carboxil, um precursor direto do etileno (YANG; HOFFMAN, 1984). O etileno é um hormônio vegetal que ativa na superação da dormência de sementes e gemas, amadurecimento e abscisão de frutos e senescência de folhas e flores.

A síntese de etileno ocorre em todo o corpo da planta (raízes, caules, folhas, fruta e etc.), que é realizada com maior intensidade em condições de altas temperaturas, aproximadamente  $30^{\circ}C$ ; em plantas sob condições de estresse; em



Do significado de enxofre mencionado anteriormente, há também diversos trabalhos com aplicação de enxofre elementar para melhorar a qualidade fisiologia das sementes e crescimento inicial da planta, como no trabalho de, em que o tratamento com enxofre das sementes permitiu aumentar germinação e vitalidade de sementes de Jomori Et al. (2014).

Ao estudar o efeito da aplicação de enxofre no crescimento inicial da feijão, Kabir et al. (2016) encontraram melhor comportamento em relação ao controle, segundo testes de altura de planta, número de nós, matéria seca da parte aérea e raiz, entre outros.

O enxofre é o terceiro nutriente mais balanceado no feijão com aproximadamente 5,4 a 6,0 kg de S em 1000 kg de feijão balanceado, representando aproximadamente 20% a 25% da quantidade absorvida. Porém, nos últimos anos, com o aumento do uso de fertilizantes com formulações concentradas, sem S ou com baixo teor, o uso de S como pesticida diminuiu, o teor de matéria orgânica do solo diminuiu devido à erosão e mineralização e o aumento da extração e exportação do elemento devido ao aumento da produtividade de grãos causou deficiência de S mais frequente (SANTOS et al., 2023)

O enxofre, assim como o cálcio e o magnésio, é conhecido como macronutriente secundário e deve estar disponível para a planta durante todo o seu ciclo. A maioria das culturas necessita de cerca de 10 kg a 30 kg/ha de enxofre (RAIJ, 2021).

Mas há uma diferença de necessidade entre leguminosas e gramíneas. As leguminosas são geralmente mais exigentes em comparação com as gramíneas. Isso ocorre porque o teor de S em suas sementes é maior (SANTOS et al., 2023). É possível analisar isso na Figura 3, a seguir:

Cultura	Conteúdo de S	
	Planta inteira	Removido colheita
	kg t <sup>-1</sup>	
Arroz (irrigado)	3,0	2,2
Milho	2,6	1,1
Trigo (sequeiro)	3,5	1,2
Batata	0,8	0,4
Feijão	16,0	5,7
Soja	8,3	3,0

Figura 3- Extração e exportação de S pelas culturas

Fonte: Paulett, 2023.

O solo fornece enxofre às plantas através da matéria orgânica que representa até 90% da quantidade total necessária às culturas agrícolas. Porém, para obter melhor produtividade, pode ser necessário aumentar o S com auxílio de fertilizantes (RAIJ, 2021).

Esse nutriente é aplicado indiretamente, por meio de alguns fertilizantes como superfosfato simples, sulfato de amônio e sulfato de potássio, e também por meio de gesso agrícola. Na natureza, as rochas ígneas são a principal fonte de enxofre, normalmente como sulfato (SANTOS et al., 2015).

#### **4 O EFEITO DA ADUBAÇÃO À BASE DE ENXOFRE**

O enxofre tem alguma mobilidade nas plantas. Isso significa que é possível notar sua deficiência tanto nas folhas novas quanto nas velhas. Mas, em geral, os mais velhos apresentam mais sintomas (MEDEIROS, 2014).

Um ponto que é importante prestar atenção é que, como explicamos, esse nutriente desempenha um papel vital na utilização do nitrogênio. Portanto, quando não está disponível nas quantidades ideais, os vegetais também podem apresentar sinais típicos de deficiência de nitrogênio, sendo que a mesma deficiência diz respeito a falta de enxofre (TÁVORA, 2017).

Essas plantas apresentam atraso no desenvolvimento e são de cor verde clara. Em casos graves, a cor torna-se brilhante e uma tonalidade amarelo-limão pode ser visível. Em alguns tipos de vegetais, por exemplo do gênero *Brassica*, as bordas das folhas enrolam-se e ficam vermelhas.

- A falta de enxofre nas plantas também pode causar os seguintes efeitos:
- Atraso no processo de amadurecimento dos grãos dos cereais;
- Redução do número de nós nas leguminosas;
- Reduzindo a quantidade de proteína nos grãos;
- Inibição do processo de amadurecimento dos frutos, onde podem apresentar coloração verde clara;
- Redução da produtividade das hortaliças, bem como do seu crescimento.

Ao notar esses sintomas, é necessário incluir o enxofre vegetal em seu programa de nutrição agrícola. Os fertilizantes com esse nutriente podem ser

aplicados no plantio, na cobertura ou aplicados como fertilizante foliar (TÁVORA, 2017).

Em solos argilosos e argilosos, os tempos de aplicação de enxofre não são críticos porque os níveis residuais da substância são geralmente elevados. Em solos arenosos, o enxofre deve ser aplicado em pequenas quantidades e frequentemente devido à lixiviação (MEDEIROS, 2014).

Garantir o melhor programa nutricional para sua cultura é fundamental para alcançar a máxima produtividade.

O enxofre é absorvido pelas plantas apenas na solução do solo e na forma de S-sulfato, que está facilmente disponível. Por outro lado, esta forma de enxofre é muito móvel no solo e o seu fornecimento pode ser interrompido devido à lixiviação. Estudos mostram que menos de 200 mm de chuva são suficientes para retirar esse elemento da camada superficial do solo, onde a concentração de raízes é maior (RAIJ, 2021).

Segundo Raij (2021), os principais fatores que afetam a oxidação do S elementar são (RAIJ, 2021):

a) Microrganismos: A oxidação do S elementar é realizada principalmente por microrganismos, sendo os mais importantes: organismos quimioautotróficos e heterotróficos presentes na matéria orgânica.

b) Matéria orgânica: a concentração de matéria orgânica afeta diretamente a oxidação do S elementar, que tem relação positiva porque fornece substratos como fonte de energia para os microrganismos.

c) pH: o efeito positivo de um pH mais elevado está relacionado à capacidade de tamponar o ácido sulfúrico produzido durante a oxidação, que, quando se acumulam altas concentrações, inibe a atividade de microrganismos que transformam o S-elemental em S-sulfato.

d) Concentração de nutrientes: o nitrogênio e o potássio apresentam efeito supressor da oxidação em altas concentrações porque os sais inibem a oxidação.

e) Granulometria do elemento S: em relação ao fertilizante, quanto menor a concentração de enxofre, maior será a dispersão do elemento nos grânulos do produto, e quanto menores forem as partículas de enxofre elementar, maior será sua oxidação.

f) Temperatura: a temperatura ótima para oxidação ainda não foi definida com precisão, mas cabe ressaltar que as maiores taxas de oxidação ocorrem entre 30°C e 40°C e lentas ou quase nulas em temperaturas abaixo de 5°C.

g) Umidade de aeração: as taxas máximas ocorrem em umidade próxima à capacidade de campo. Em condições de alta umidade, a oxidação é limitada pela aeração insuficiente, e em baixa umidade, pela falta de água para atividade microbiana.

Uso de S-elemental, que contém 99% S, adicionado às fórmulas, onde s fertilizantes podem ser uma alternativa técnica que resulta em redução de custos de produção para os agricultores e não perde nutrientes por lixiviação, o que garante maior durabilidade e fornecimento de nutrientes durante todo o ciclo, inclusive no enchimento dos grãos, através da ferrugem do elemento S. Quando aplicado ao solo, o S elementar deve ser oxidado a S-sulfato para absorção pelas plantas, e sua eficiência agrônômica depende de sua taxa de oxidação (TÁVORA, 2017).

Um dos pontos positivos desses produtos em folha é que eles são muito mais fáceis de aplicar. O fertilizante tradicional utilizado no solo tem absorção mais lenta e perdas maiores. A pulverização foliar é pulverizada em estruturas de plantas já endurecidas (RAIJ, 2021).

Isso reduz o tempo necessário e até reduz a necessidade de mão de obra. Com isso, é possível gastar menos para alcançar melhores resultados, o que favorece a relação custo-benefício (MEDEIROS, 2014).

A fertilização foliar com o enxofre tem algumas vantagens específicas (RAIJ, 2021):

- Corrigir todas as deficiências durante o desenvolvimento da plantação;
- Apresentam baixo custo em comparação com outros tipos de fertilizantes;
- Pode ser aplicado na mesma estrutura operacional em que os agrotóxicos são pulverizados;
- Capacidade de fornecer pequenas quantidades de micronutrientes, mais fácil de evitar desperdícios;
- Resposta rápida das plantas à aplicação.

Em geral, o enxofre é o quarto nutriente mais absorvido pelas plantas e levou ao aumento da produtividade de culturas agrícolas economicamente importantes, como feijão, soja e milho, na última década (MEDEIROS, 2014).

O efeito positivo do enxofre no rendimento das culturas cria uma relação direta com as diversas funções que desempenha nas plantas, com destaque para a sua participação no metabolismo vegetal e na indução da resistência das plantas aos estresses abióticos e bióticos (TÁVORA, 2017).

O enxofre faz parte dos elementos estruturais e metabólicos envolvidos na respiração, crescimento, síntese de vitaminas e proteínas, mecanismos de resposta ao estresse oxidativo e resistência ao frio (TÁVORA, 2017).

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A aplicação de enxofre na adubação aumenta o teor do elemento nas folhas, a produção de matéria seca na parte aérea, o número de vagens por planta e o tamanho de grãos do feijão no sistema de plantio direto. Em culturas com alto nível tecnológico, o aumento da produtividade do feijão pode ser limitado pela utilização de doses insuficientes de enxofre, então para o resultado eficaz deve-se respeitar os índices descritos.

## **REFERÊNCIAS**

ANDRADE, M. J. B.; OLIVEIRA, D. P.; FIGUEIREDO, M. A.; MARTINS, F. A. D.

**Exigências edafoclimáticas. Feijão: do plantio à colheita.** Editora UFV. Viçosa, p. 67- 95, 2021.

CAMARGO, E. R.; MARCHESAN, E.; AVILA, L. A. de. SILVA, L. S. da.; ROSSATO, T. L.; MASSONI, P. F. **Manutenção da área foliar e produtividade de arroz irrigado com a aplicação de fertilizantes foliares no estágio de emborrachamento.** Ciência Rural, v.38, n.5, p.1439-1442, 2018.

COLLI, S.; PURGATTO, E. **Fisiologia vegetal (KERBAUY, G. B., 2 ed).** Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan, p.271-295, 2018.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

ELEVAGRO. **Escala fenológica do feijão.** Disponível em: <https://elevagro.com/conteudos/materiais-tecnicos/fenologica-feijao>. Acesso em: 20 de setembro de 2023.

JOMORI, M. L. L.; SASAKI, F. F. C.; BERNO, N. D.; GIMENES, L. C.; KLUGE, R. A. **Desverdecimento e armazenamento refrigerado de tangor ‘Murcott’ em função de concentração e tempo de exposição ao etileno.** *Semina: Ciências Agrárias*, v.35, n.2, p. 825-834, 2014.

KABIR, A.; KIM, W.; WANG, H. W.; YAO, Q.; KWON, H.; KARUPPANAPANDIAN, T. **Sulfur fertilization influence on growth and yield traits of three Korean soybean varieties.** *International Journal of Agriculture System*, v.4, n.1, p.1-12, 2016.

LOPES, J. C.; ALEXANDRE, R. S. **Germinação de sementes de espécies florestais.** In: CHICHORRO, J. F.; GARCIA, G. de O.; BAUER, M. de O.; CALDEIRA, M. V. W. (Org.). *Tópicos em Ciências Florestais*. 1 ed. Visconde do Rio Branco: Suprema. v.1, p.21-56, 2021.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda., 2016. 638 p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. **Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas.** In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). *Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 189-249.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico** procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.

MEDEIROS, L. A. M. **Resistência Genética do Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) ao *Colletotrichum lindemuthianum*.** 2014. 84 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

MINAYO, Maria Cecília de Souza (org.). **Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade.** 18 ed. Petrópolis: Vozes, 2009.

MOURA, A. D.; BRITO, L. M. **Aspectos socioeconômicos. Feijão: do plantio à colheita.** Editora UFV. Viçosa, p. 16-36, 2015.

NAKAGAWA, J. **Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. Vigor de sementes: conceitos e testes.** Londrina: ABRATES, 2022. p.2.1-2.24.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2018.

PAULETTI, Volnei. **ENXOFRE**. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~nutricao/plantas/enxofre.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2023.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba-SP: International Plant Nutrition Institute, 2021. 420p.

RIOS, A. de. O.; ABREU, C. M. P. de.; CORRÊA, A. D. **Efeito das estocagem e das condições sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.)**. Ciência e Tecnologia de Alimentos. v.23, suppl.0, p.39-45, 2023.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L.; VIEIRA, R. F.; PINHEIRO, L. R. **Botânica. Feijão: do plantio à colheita**. Editora UFV. Viçosa, p. 37-66, 2015.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; CARNEIRO, L. F.; CURI, N.; MORETTI, B. S. **Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 1, p. 193-202, 2023.

TÁVORA, F. J. A. F.; DINIZ, B. L. M. T. **Cultura Do Feijão COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Universidade Federal do Ceará – Centro de Ciências Agrárias. Fortaleza – CE, Julho, 2006.

TÁVORA, F.J.A.F. et al. **Componentes de produção e características de florescimento de linhagens de feijão-de-corda**. Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 28, n. 1, p.44-50, 2017.

TOLEDO, M. Z.; FONSECA, N. R.; CÉSAR, M. L.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C. **Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.39, n.2, p.124-133, 2009.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. **Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants**. Annual Review of Plant Physiology, v.35, p.155-189, 1984.