

EFEITO DE DIFERENTES DOSES DE ENXOFRE NA CULTURA DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.)

EFFECT OF DIFFERENT DOSES OF SULFUR ON BEAN CROP (*Phaseolus vulgaris* L.)

Jenifer Thais Brek¹; Kauana Silveira Justo²; Larissa de Lara de Oliveira³; Rafael Vitor Wozniak Stefanczak⁴; Stephany Ramos Bach⁵; André Luiz Oliveira de Francisco⁶

Resumo: O enxofre tem baixa preocupação na maioria dos programas de adubação, porém, quando em deficiência, promove graves perdas produtivas. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de doses de enxofre com aplicação foliar no feijão. Foi utilizado o grupo comercial carioca, IPR Campos Gerais, sendo conduzido em blocos casualizados, com cinco tratamentos (0%, 50%, 100%, 150%, 200% da dose recomendada) e quatro repetições. Os componentes de produção avaliados foram o número de vagens, número de grãos por vagem e o peso de mil grãos. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (a 5% de probabilidade) e regressão. Todos os dados apresentaram diferença significativa entre as doses aplicadas de enxofre, com isso é possível concluir que este nutriente apresenta efeito sobre o crescimento na cultura do feijão para todos os índices avaliados. A produtividade neste experimento apresentou resultado abaixo do esperado, contudo, dentro da média regional e acima da média nacional com diferença significativa presente e ponto de máxima em 2115g/L de enxofre do produto. Os três componentes de produção observados, apresentaram comportamento linear nas análises de regressão, demonstrando que o aumento das doses tem como consequência o aumento destes. Os efeitos variam de quadrático a linear, apresentando ponto de máxima próximo (quadrática) próximo a dose 150% em todos os fatores analisados. Conclui-se assim que a dose 2215g/L de enxofre no produto, visando produtividade, e acima 150% da dose recomendada pelo produto em geral (2250 g/L) é que melhor promoveu nossa cultura do feijão.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Nutrição de plantas. Enxofre. Componentes de produção.

Abstract: Sulfur is of low concern in most fertilizer programs, however, when deficient, it causes serious production losses. In this sense, the present work aimed to evaluate the effects of sulfur doses with foliar application on beans. The Rio commercial group, IPR Campos Gerais, was used, being conducted in randomized blocks, with five treatments (0%, 50%, 100%, 150%, 200% of the recommended dose) and four repetitions. The production components evaluated were the number of pods, number of grains per pod and the weight of one thousand grains. The data obtained were subjected to analysis of variance (at 5% probability) and regression. All data showed a significant difference between the applied doses of sulfur, so it is possible to conclude that this nutrient has an effect on growth in bean crops for all indices evaluated. Productivity in this experiment presented results below expectations, however, within the regional average and above the national average with a significant difference present and a maximum point at 2115g/L of product sulfur. The three production components observed showed linear behavior in the regression analyses, demonstrating that increasing doses results in an increase in these. The effects vary from quadratic to linear, presenting a maximum point (quadratic) close to dose 150% in all factors analyzed. It is therefore concluded that the dose of 2215g/L of sulfur in the product, aiming at productivity, and above 150% of the dose recommended by the product in general (2250 g/L) is what best promoted our bean culture.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Plant nutrition. Sulfur. Production componentes.

1 Eng.Agr., Ponta Grossa, PR – Brasil, E-mail:jeniferbrek@hotmail.com

2 Eng.Agr., Ponta Grossa, PR – Brasil, E-mail: kauanacescage@gmail.com

3 Tec.Agr., Graduanda de Agronomia, Ponta Grossa, PR – Brasil, E-mail: larissalaradeoliveira@gmail.com

4 Eng.Agr., Ponta Grossa, PR – Brasil, E-mail: wozniakstefan@gmail.com

5 Eng.Agr., Ponta Grossa, PR – Brasil, E-mail: stephanybach1294@gmail.com

6 Eng.Agr., Professor Doutor da Faculdades Integradas do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE, Ponta Grossa, PR – Brasil, E-mail: alfrancisco@cescage.edu.br

INTRODUÇÃO

Entre as espécies do gênero *Phaseolus*, o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) possui o maior cultivo do mundo e depois da soja é a leguminosa mais importante para a alimentação no continente americano, asiático e africano (BARBOSA, 2012). O Brasil está entre os maiores produtores mundiais de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), atualmente sua produção é estimada em 497,1 mil toneladas, sendo o plantio realizado em praticamente todo o ano. O cultivo ocorre em praticamente todo território nacional, sendo Paraná o estado com maior participação na produção com cerca de 20,9%, seguido por Mato Grosso com 13,4%, Minas Geras com 13,4%, Bahia com 9,1%, Goiás com 8,3 %, São Paulo 5,7% (CONAB, 2019).

O feijão integra os sistemas agrícolas, na região sul do país, é uma das principais culturas anuais cultivada em sistema de semeadura direta, com a utilização de técnicas como manejo adequado da adubação, inclusão de forrageiras e uso correto de insumos tem tornado possível obter produtividades acima da média nacional (SOUZA *et al.*, 2012). Além do preparo do solo, a escolha das cultivares também é importante no processo produtivo, podendo beneficiar o produtor com melhores rendimentos (ROSELEM; MARUBAYASHI, 1994).

A adubação é um dos manejos mais importantes da cultura, essencial para o bom desempenho. De acordo com diversos autores, o feijão é uma das culturas mais sensíveis a desequilíbrios nutricionais, principalmente se comparado a soja, parente mais próxima também produzida em larga escala no país (OLIVEIRA *et al.*, 1996, FAGERIA *et al.*, 2015).

Na atualidade, o foco dos programas de pesquisa e desenvolvimento agrícola na cultura do feijão ligados à adubação, é nos macronutrientes básicos (NPK) ou em micronutrientes específicos ligados ao sistema de fixação biológica de nitrogênio (Cobalto-Molibdênio) ou o Boro (Fageria, *et al.*, 2015). Contudo, outros nutrientes são de suma importância para o bom desenvolvimento, dentre eles, o enxofre (S) (ROSELEN *et al.*, 2006).

A busca por maior produtividade e rentabilidade, está ligada a melhoria do solo e da nutrição vegetal, em especial da forma e período de disponibilização do enxofre (SANTI, *et al.*, 2013). Sendo assim, plantas adubadas adequadamente e de maneira equilibrada possuem condições de produzir uma quantidade maior de grãos, visto que terão maior resistência às adversidades no período de produção (CESAR *et al.*, 2008).

O nitrogênio (N) é o nutriente mais pesquisado na cultura do feijão, principalmente devido a possibilidade de ser adquirido pela planta de feijão através da fixação biológica de nitrogênio e pelo ténue equilíbrio que a cultura exige deste nutriente devido sua incapacidade em adquirir todo seu suprimento de N através da fixação biológica do nitrogênio e com isso, necessitar de adubação nitrogenada em plantio e cobertura (ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994), assim, gera um ponto chave para relações de estudo visando adequar doses, momento de aplicação e agentes influentes neste elemento com produtividade e economia de insumos.

Segundo Marschner (2012), o N e S podem sofrer sinergismo, sendo que esses nutrientes podem influenciar diretamente a qualidade do produto. Por exemplo, o S capaz de aumentar o teor de metionina nas proteínas dos cereais e o N pode mudar a proporção de albuminas, globulinas, polaminas e glutelinas. Na fisiologia, a união das rotas metabólicas de assimilação do N e do S é representada pela incorporação do sulfeto na O-acetilserina pela enzima OAS-tiol-liase para a formação da cisteína (CRAWFORD *et al.*, 2000). O aminoácido O-acetilserina tem sua origem na serina, por ação da enzima acetiltransferase (SATase) qual tem N presente em sua estrutura (KOPRIVA; RENNENBERG, 2004).

A interação N*S no metabolismo não se restringe apenas à síntese de proteínas. Em diversos estudos com espécies vegetais foi constatada menor atividade da enzima redutase do nitrato sob condições de S limitante no substrato, o que culminou em incremento das concentrações de nitrato no tecido vegetal (GIORDANO *et al.*, 2000; THOMAS *et al.*, 2000; PROSSER *et al.*, 2001). Desse modo, infere-se que o metabolismo das plantas pode ser alterado

de acordo com a forma de N combinada com S na adubação. De acordo com Marschner (2012), a interação N e S deve ser considerada nas recomendações de adubação. Grande parte do N nas plantas está em forma de proteínas e o S é constituinte de dois aminoácidos essenciais, cisteína e metionina. Em casos de deficiência desse elemento, há redução na produção desses aminoácidos e não ocorre formação das proteínas que os contêm. Como consequência, plantas deficientes em S não realizam assimilação de N em proteínas e assim o N se acumula na forma de aminas, amidas e aminoácidos solúveis, demonstrando a importância do equilíbrio entre as concentrações de N e S no solo e na planta, o que interfere no crescimento e no estado nutricional, ou seja, doses mais altas de um desses elementos podem levar à menor disponibilidade do outro elemento para as plantas, prejudicando o rendimento da cultura.

Em relação ao enxofre, embora não seja objeto de preocupação na maioria dos programas de adubação, plantas deficientes em S podem limitar a produtividade da cultura (FURTINI NETO *et al.*, 2000). Trata-se do terceiro nutriente mais exportado pelo feijoeiro, sendo que em 1.000 kg de grãos são exportados aproximadamente 5,4 a 6,0 kg de S, o que representa cerca de 20-25% da quantidade absorvida (ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994). Quando existe limitação no suprimento de S, a aplicação de doses elevadas dos demais nutrientes, principalmente N, P e K, pode não resultar em aumento de produtividade, devido ao desequilíbrio nas relações N/S e P/S na planta (CRUCIOL *et al.*, 2006).

A alta utilização do S pela planta ocorre devido ao envolvimento deste elemento nos processos enzimáticos e nas reações de oxirredução, constituinte dos aminoácidos cistina, cisteína e metionina, sendo não apenas dele, mas do nitrogênio também. Na planta, o S participa de muitos compostos, principalmente das “proteínas”. Para fazer parte de aminoácidos (formadores de proteínas), o N deve estar na forma de amônio (CÉSAR *et al.*, 2008).

Ao trabalhar com adubação em feijão, Rein e Souza (2004), verificaram que mesmo os solos com teor médio de S ao receber altas doses desse nutriente houve aumento na sua produção. Para Crusciol *et al.* (2006), em muitas situações de campo o S pode ser o nutriente que está limitando a produção das lavouras de feijão altamente tecnificadas.

Limitações de S nas plantas são manifestadas no ponto de convergência das rotas assimilatórias, o que ocasiona acúmulo ou carência de produtos sintetizados (NIKIFOROVA *et al.*, 2006) e desequilíbrio nutricional que reflete na síntese da maioria das proteínas vegetais.

Estudos de nutrição de plantas demonstraram efeito positivo do fornecimento de S na produtividade de várias culturas, com destaque para o feijão (FURTINI NETO *et al.*, 2000; CRUSCIOL *et al.*, 2006). Plantas de trigo cultivadas em solo franco arenoso responderam as aplicações de S através de uma maior absorção desse elemento e uma menor relação N/S (WARMAN; SAMPSON, 1994). Para a canola, Janzen e Bettany (1984) verificaram que o rendimento da cultura foi obtido apenas quando a disponibilidade de N e S estava em equilíbrio. Fismes *et al.* (2000) observaram que a deficiência de N em canola reduziu a eficiência na utilização do S. Na cultura da soja diversos trabalhos demonstraram efeitos positivos do nutriente em índices produtivos e produtividade da cultura. Desta forma, o presente trabalho visa avaliar os efeitos de doses do nutriente enxofre com aplicação foliar na cultura do feijão.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre os anos de 2016 e 2017 na fazenda escola do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE) localizada no município de Ponta Grossa, Paraná, sob coordenadas S 25°10'39.2" W 50°06'53.8", com altitude aproximada de 850 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfb, subtropical úmido, com temperatura média anual de 18°C e precipitação média anual de aproximadamente 1550 mm (IAPAR, 2018).

Utilizou-se a variedade IPR Campos Gerais, feijão carioca de grão graúdo e hábito indeterminado grau II, porte ereto, ciclo médio e ampla utilização nos estados do Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso e São Paulo.

O solo do local é latossolo vermelho distroférico e foi caracterizado do ponto de vista químico através da análise de rotina (Tabela 1), com base na qual não houve necessidade de correções para instalação do experimento.

Tabela 1 – Resultados da análise de solo realizada na área do experimento.

pH	H+Al	C	P	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	m%
5,2	5,8	21,34	11	0,13	0,43	3,44	1,98	5,85	11,65	50,21	2,17

Informações químicas do solo obtidas através da análise de rotina realizada.

A semeadura da cultura foi em sistema de plantio direto no espaçamento de 0,42 metros entre fileiras e 0,08 metros entre plantas (16 sementes por metro linear), gerando população de aproximadamente 350.000 plantas por hectare. O experimento foi conduzido em arranjo com blocos casualizados. Foram realizados cinco tratamentos com quatro repetições, gerando 20 parcelas e quatro blocos.

Os tratamentos diferenciavam-se através das doses de adubação foliar a base de enxofre (S) aplicadas. Sendo 0%, 50%, 100%, 150%, 200% da dose recomendada do produto utilizado (Tabela 2) para a cultura do feijão, juntamente são apresentadas as quantidades de enxofre (S elementar) no produto segundo informações do fabricante. Foram observadas orientações sobre produtos comerciais disponíveis no mercado a base de S e suas recomendações para a cultura da soja, visto que alguns já apresentam recomendação para cultura do feijão e houveram consultas à bibliografias como as de Oliveira *et al.* (1996), Rosolem e Marubayashi (1994) e Crusciol *et al.* (2006) que trabalharam ou realizaram citações quanto às condições de trabalhos com adubação de S via foliar e que envolvem níveis de aplicação foliar do elemento para confirmar se as doses propostas estavam de acordo quanto a fonte e quantidade de sulfato (forma do enxofre utilizada para determinação de ingrediente/ quantidade de enxofre no produto).

Tabela 2 – Quantidade de produto aplicada e quantidade de ingrediente ativo nas doses utilizadas no experimento (tratamentos), ambas por hectare.

Porcentagem (%) da Dose Recomendada	Quantidade do Produto comercial utilizada por hectare	Quantidade de Enxofre aplicada por hectare
0	0	0
50	1 litros	750g
100	2 litros	1500g
150	3 litros	2250g
200	4 litros	3000g

Com base nas informações contidas no produto comercial utilizado para fornecer o enxofre.

O produto comercial apresentava 750g de enxofre por litro com densidade de 1,5 g/dm³. O produto foi aplicado com pulverizador costal Jacto 20L com bico leque, altura constante do chão (aproximadamente 80 cm) e vazão próxima a mínima recomendada pelo produto via costal que é 150 litros por hectare, neste caso, 160 L/ha utilizada. A dose dobrada não teve mais de dois momentos de aplicação. Na testemunha houve aplicação de água para simular ação em todos os tratamentos.

Cabe salientar que as doses expostas acima foram transformadas em suas devidas proporções para os tamanhos de parcela aplicados ao experimento e que o volume adequado as mesmas.

A aplicação foliar foi realizada em dois momentos, o primeiro, pouco antes do florescimento, 42 dias após a semeadura. Outro, durante o florescimento já com a presença de

vagens, 65 dias após a semeadura. A dose total proposta de S para cada tratamento foi dividida em partes iguais (1/2).

As parcelas na área experimental foram determinadas por sorteio, com 5x4 m ao todo e bordadura de 1 metro geral, gerando área útil de 4x3m, ao final do experimento 3x3m colhidos. A semeadura foi realizada de forma mecanizada com sementes tratadas com produtos recomendados para controle de insetos e doenças e a germinação se deu com stand de 50% entre o 6º e o 8º dias após a semeadura (7 dias médios).

A recomendação para adubação do feijão seguiu o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (NEPAR-SBCS, 2017) utilizando para tal a análise de solo da área (Tabela 1). A recomendação obtida a partir da análise de solo foi voltada para produtividades compatíveis com as dos Campos Gerais (próximas a 3.000 kg/ha). As aplicações de fósforo (P) e potássio (K) foram realizadas na implantação da cultura, cerca de 80 kg/ha de P_2O_5 e 30 kg/ha de K_2O , utilizando como fonte adubo formulado 10-30-10. A aplicação de nitrogênio (N) foi particionada conforme recomendação do manual (base: 30% da dose ou até 40 kg/ha de N), sendo aplicado 30 kg/ha de N. O restante foi aplicado em cobertura, 60 kg/ha de N em apenas um momento (próximo ao estágio V3 da cultura), sendo a fonte ureia para evitar entradas consideráveis de enxofre no sistema. Como fonte de P foram utilizadas fontes com S na fórmula (super simples) devido sua tradicional utilização, mantendo o sistema de produção mais comum ao produtor e assim verificando em situação comum a ocorrência de efeitos das doses.

As plantas daninhas presentes na área antes da instalação do experimento foram eliminadas via dessecação, cinco dias antes da semeadura. Após a implantação da cultura, em pós-emergência, foi necessário controle com produtos seletivos (folha estreita e larga). O controle de pragas foi realizado baseado em observações periódicas da área, realizado com produto sistêmico, três vezes no período de cultivo. O mesmo foi realizado para doenças danosas à cultura, principalmente se tratando de podridões, que foram presentes durante o cultivo do experimento, mas controladas. Não houve irrigação, sendo que o monitoramento de chuvas e temperatura foi realizado periodicamente com ajuda da estação meteorológica da Fazenda Escola do CESCAGE e do SIMEPAR, ambos em Ponta Grossa, não houveram períodos maiores do que uma semana sem chuvas na área.

Após a primeira época de aplicação do produto foram iniciadas as averiguações quinzenais para índices de desenvolvimento, como altura de plantas e número de folhas até a finalização da floração, totalizando duas coletas (57 e 72 dias após a semeadura), sendo avaliadas cinco plantas por parcela, as mesmas em ambas coletas (as cinco plantas foram marcadas para repetitividade). Na maturação fisiológica foi realizada avaliação de massa seca da planta toda, após 72 horas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C.

Ao final do ciclo da cultura foi realizada a contagem do número de vagens em 10 plantas por parcela e nessas mesmas plantas 15 vagens aleatórias foram separadas e tiveram suas sementes contadas, sendo feito em ambos os casos médias para obtenção dos resultados por parcela. Após a colheita, foi verificado o peso de mil grãos e a produtividade foi averiguada com correção de umidade a 13%.

Para a análise dos dados, foi aplicada a análise de variância (Teste F) a 5% de probabilidade, seguida de regressão caso diferença seja obtida utilizando o programa R-Studio Core (2015). Para os dados com diferença significativa, foram montados gráficos de regressão a partir dos resultados médios dos tratamentos utilizando o programa Microsoft Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os dados coletados no experimento apresentaram diferença significativa entre as doses aplicadas de enxofre (S) gerando gráficos de regressão demonstrando curvas com seus pontos de máxima e/ou a maior dose aplicada sendo a mais representativa.

Na primeira avaliação, 15 dias após primeira aplicação de S na cultura do feijão, 57 dias após a semeadura, foi possível observar em ambos os dados, altura de planta e número de folhas, diferença significativa. A análise de regressão apresentou comportamento cúbico para altura de planta e linear para número de folhas nos feijoeiros analisados. Os gráficos com os comportamentos e suas informações, incluindo R^2 estão representados nas Figuras 1 e 2.

Para ambos os casos, R^2 foi expressivo, demonstrando correlação entre os dados e o comportamento, contudo o comportamento cúbico presente na altura de plantas não se adequa ao sistema de doses, com isso, há necessidade de maiores averiguações futuras em experimentos para identificação mais adequada do comportamento ou motivos para tal. Este comportamento pode ainda estar ligado a questões de variedade a qual pode apresentar diferenças de uniformidade, contudo, não tão grande como demonstrado.

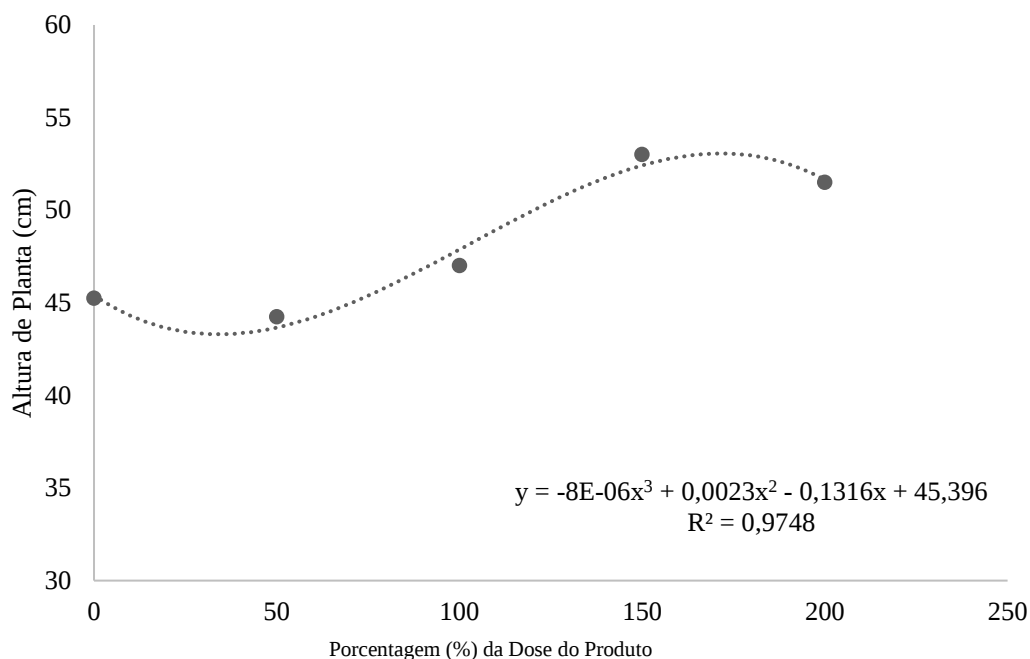


Figura 1 - Gráfico da altura de plantas após a primeira avaliação vegetativa do experimento, 57 dias após a semeadura.

Os dados de número de folhas demonstram ação do S no aumento de folhas logo após a primeira aplicação com comportamento crescente entre as doses (regressão linear), como pode ser visualizado na Figura 2. Contudo, percebe-se que o aumento do número de folhas foi mais expressivo entre o tratamento 2 e 3, sendo os ganhos entre os tratamentos 3 e 5 menores, indicando ganhos expressivos caso a dose recomendada pelo produto seja seguida (100%).

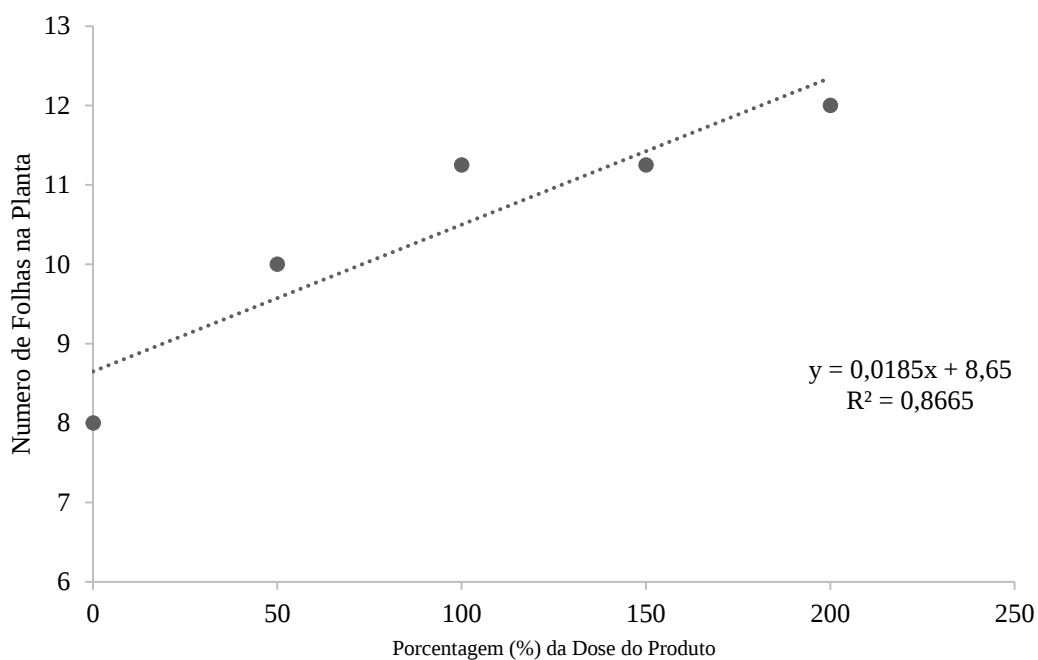


Figura 2 - Gráfico do número de folhas após a primeira avaliação vegetativa do experimento, 57 dias após a semeadura.

O mesmo comportamento pode ser observado na segunda avaliação quanto ao número de folhas durante o período vegetativo da cultura. Com comportamento bastante semelhante entre os tratamentos (Figura 3).

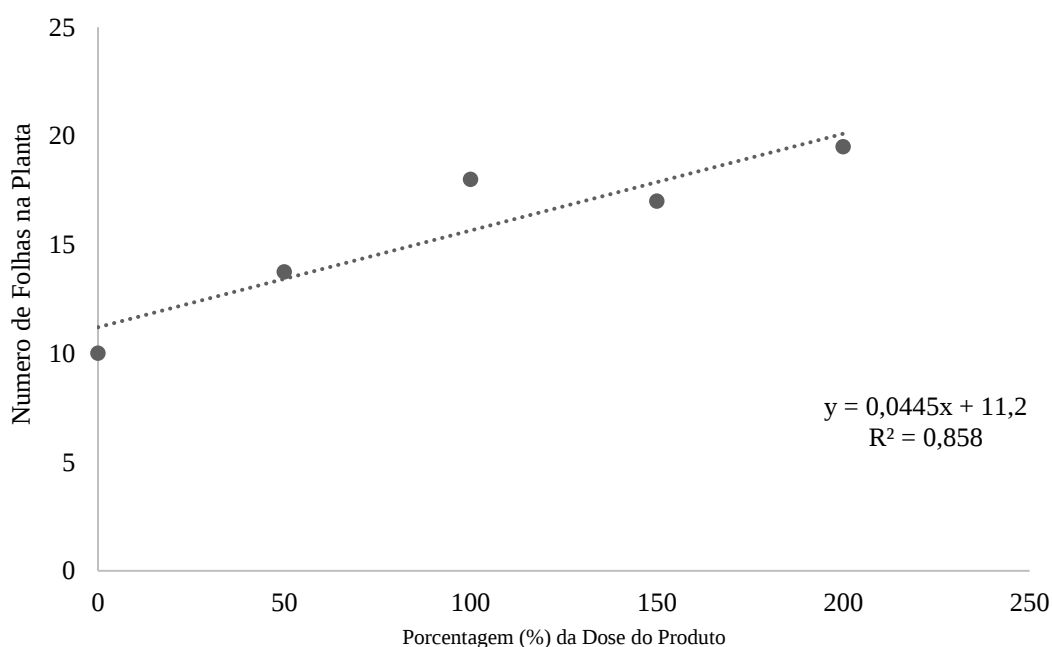


Figura 3 - Gráfico do número de folhas após a segunda avaliação vegetativa do experimento, 72 dias após a semeadura.

O número crescente de folhas conforme o aumento das doses pode estar relacionado aos efeitos do enxofre sobre o aumento no número de ramos e crescimento vegetativo de forma generalizada em plantas produtivas, comentado por diversos autores, como Rosolem (1996),

Silveira *et al.* (2015), Fageria *et al.* (2015), Pias *et al.* (2019). Contudo, salienta-se que não foram encontrados trabalhos que liguem diretamente o aumento no número de folhas de feijoeiro e doses de S via foliar, fato este que reforça a importância deste trabalho e a necessidade da continuidade nas pesquisas sobre o tema.

Seguindo um comportamento diferente do observado na primeira avaliação vegetativa, a altura de planta neste segundo momento de observação apresentou um comportamento quadrático, diferentemente do observado na primeira avaliação (cúbica) e com distribuição mais coerente dos dados médios, Figura 4.

Este comportamento visualizado na segunda avaliação de altura de plantas também pode estar relacionado aos efeitos de promoção de crescimento vegetativo do enxofre às plantas em geral, incluindo o feijão. O aumento de folhas promove maior aparato energético no sistema e por consequência, melhor desenvolvimento da planta refletindo em índices como altura de planta. O ponto de máximo crescimento em altura na segunda avaliação ocorre na dose 168% da ideal para o produto utilizado, sendo 2520 g/ha de enxofre.

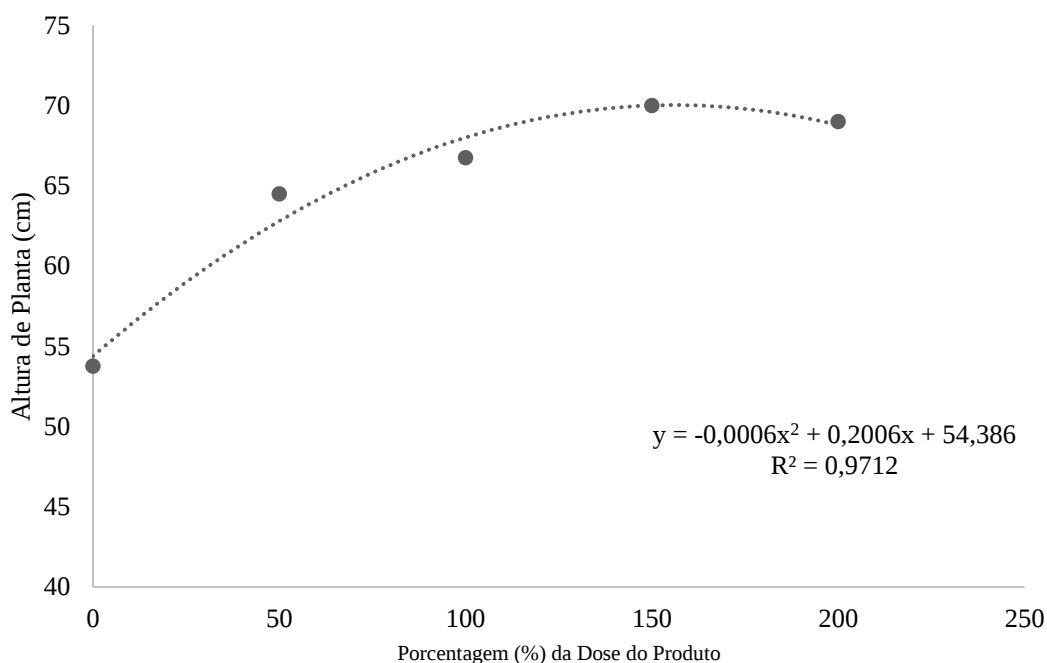


Figura 4 - Gráfico da altura de plantas após a segunda avaliação vegetativa do experimento, 72 dias após a semeadura.

No gráfico de massa seca de planta de feijão (peso unitário de plantas), Figura 5, é possível verificar comportamento quadrático da regressão, havendo o ponto de máximo acúmulo de massa seca bem próximo a dose 150%, 155%, sendo 2325 g/ha de enxofre, onde teremos plantas com média de 69,08g. Percebe-se também que a curva apresenta acentuação leve, demonstrando que aumentos expressivos de doses não levaram a prejuízos sobre a massa seca ou ao desenvolvimento da planta em geral, contudo, também não levaram à aumento expressivo do índice.

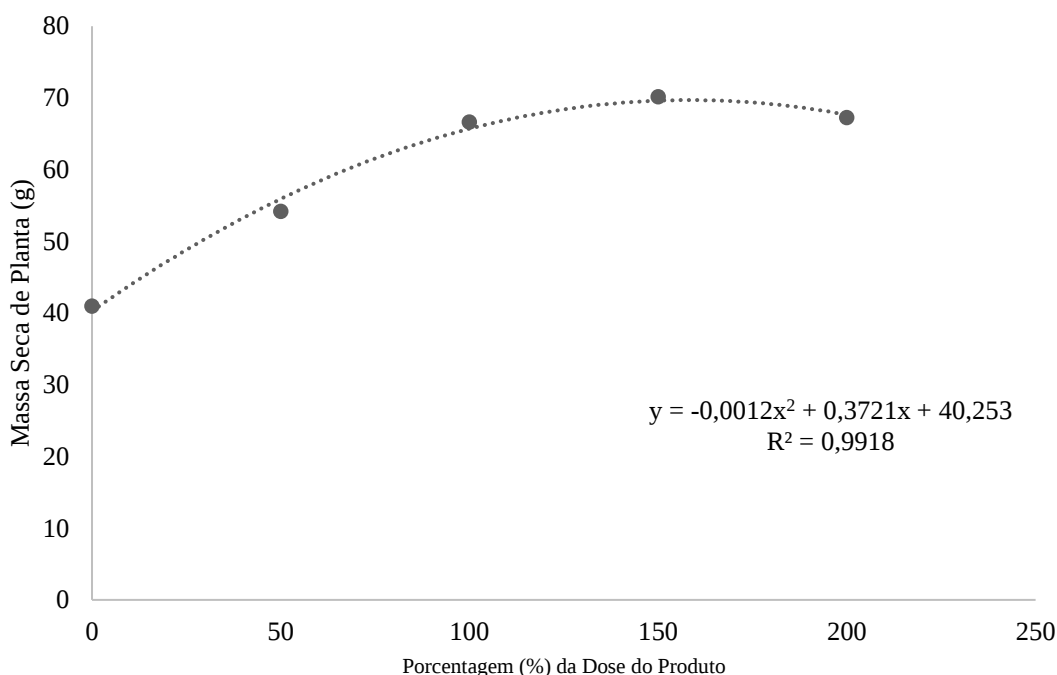


Figura 5 - Gráfico de massa seca das plantas após maturação fisiológica da cultura, 79 dias após a semeadura.

Este fato se deve, principalmente ao S estar diretamente atrelado aos ciclos fisiológicos do nitrogênio e a construção de proteínas e vias metabólicas/ enzimas, Silveira *et al.* (2015), Fageria *et al.* (2015), Pias *et al.* (2019) o que permite aumentos expressivos na capacidade de geração de massa nesta planta.

Na cultura da soja, Alcantra *et al.* (2009) relata relação entre massa seca e adubação foliar com enxofre, sendo que o aumento das doses resultou em maior massa. Na cultura do feijão, contudo em cobertura (fonte de enxofre via solo) Crusciol *et al.* (2006) observou relação direta entre as doses crescente de enxofre e a massa seca. Neste último, as relações são menores, principalmente devido a interferência do solo na fonte de enxofre e diferença na velocidade de atendimento das necessidades da planta.

Em se tratando de componentes de produção, podemos verificar que para os três observados no feijão (número de vagens, número de grãos por vagem e peso de mil grãos) o comportamento linear nas análises de regressão demonstra que o aumento das doses promove o aumento dos componentes.

No gráfico de número de vagens por planta (Figura 6), verifica-se comportamento linear, demonstrando que doses crescentes geram aumento das vagens nas plantas de feijão. Contudo, percebe-se um grande aumento no valor de massa entre as doses 100% e 150% do recomendado do produto, respectivamente 1500 g e 2250 g/ha de enxofre, seguido de um aumento bem menor entre a dose 150% e 200% o que gera a possibilidade de dose limitante próxima a essas.

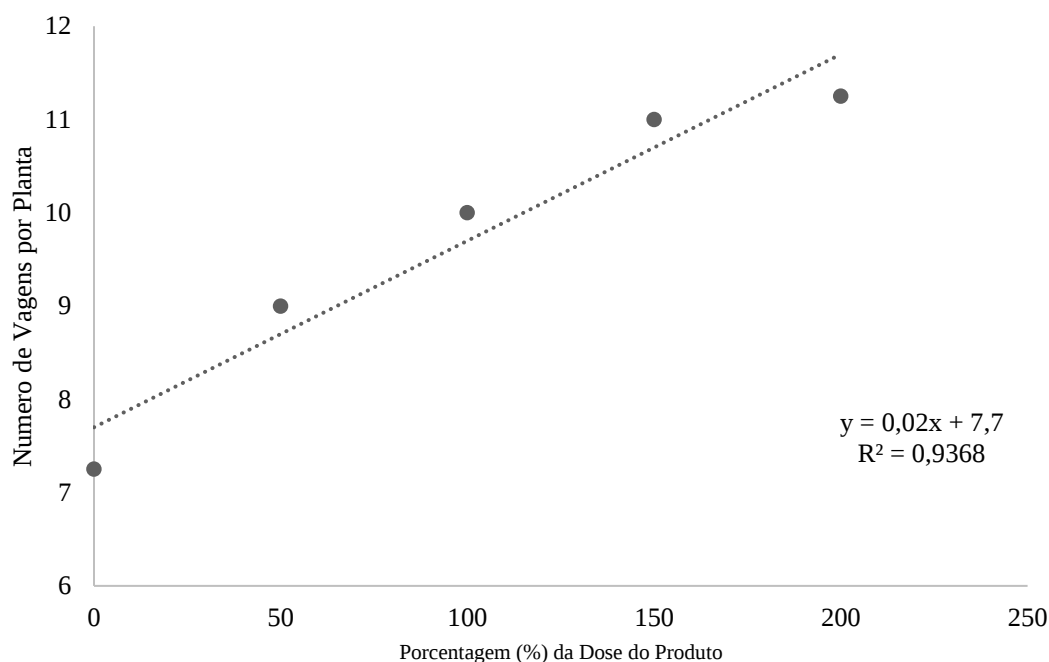


Figura 6 - Gráfico do número de vagens das plantas após maturação fisiológica da cultura, 82 dias após a semeadura.

O mesmo pode ser visualizado quanto a número de grãos por vagens (Figura 7), mas com uma diferença entre as médias dos dados bem menor e com irregularidade de crescimento visível através do gráfico.

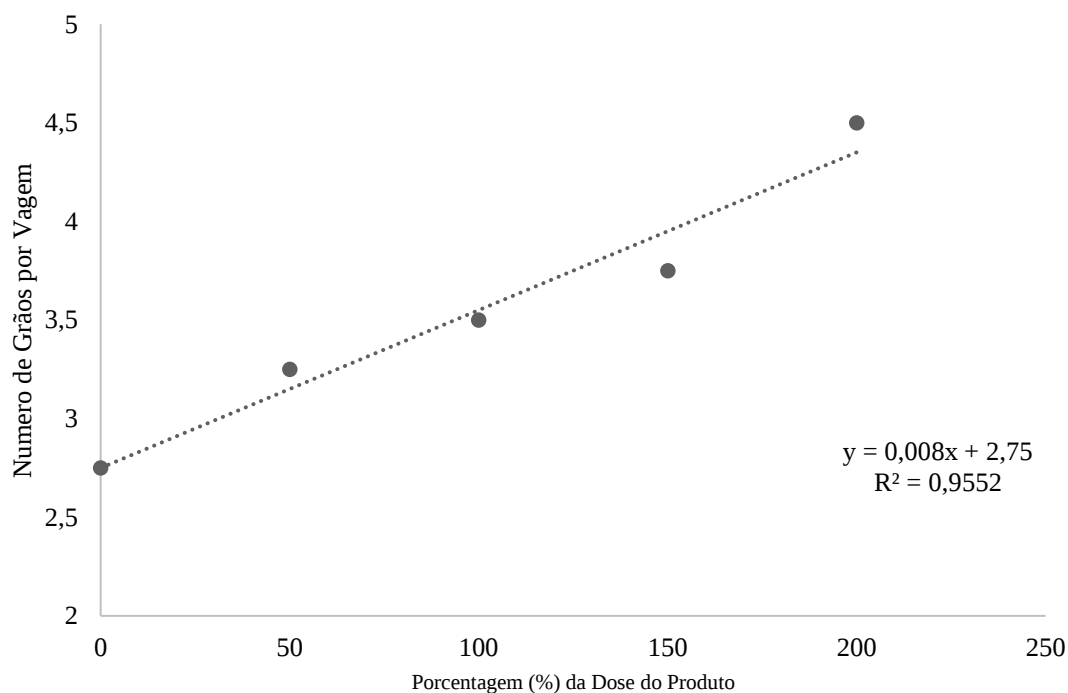


Figura 7 - Gráfico do número de grãos por vagem das plantas após maturação fisiológica da cultura, 82 dias após a semeadura.

Os resultados observados acima são relatados por autores que verificaram os efeitos do enxofre sobre a produção de feijão. Nascente *et al.* (2017) observou aumento no número de vagens por planta e número de grãos por vagens, apesar de que nos estudos as adubações de enxofre são via solo e em algumas variedades são observadas curvas inversas e doses 0 com maior número de grãos por vagem e vagens por planta, comparando as demais doses.

Crusciol *et al.* (2006) observou comportamento quadrático na quantidade de vagens por planta em seu experimento quando realizou crescentes doses de enxofre em cobertura (via solo) na cultura do feijão.

Na cultura da soja, Primo *et al.* (2012) observou efeitos do enxofre no número de vagens por planta e número de grãos por vagens, contudo com adubação realizada via solo, verificando que doses crescentes de enxofre afetam o crescimento em ambos componentes de produção.

Mendes *et al.* (2014) verificou na cultura do milho aumento na produtividade de grãos e maiores teores de enxofre nas folhas, sob aplicação deste em cobertura.

Para peso de mil grãos (Figura 8), demonstra-se uma correlação crescente entre doses e peso de mil grãos, contudo na dose 50% decorre um pico de dados maiores que demais tratamentos, não apenas o 200%, qual fica próximo. O fato demonstra a necessidade de maiores análises em experimento futuros, somando-se a isso, o baixo R^2 . Contudo, autores tanto na cultura da soja como na cultura do feijão observaram relação semelhante.

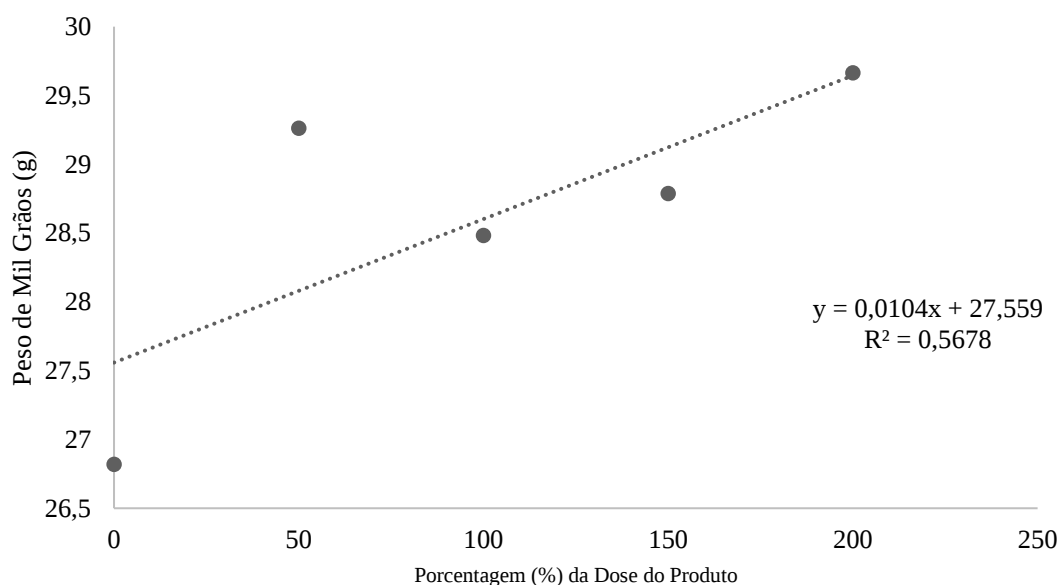


Figura 8 - Gráfico do peso de mil grãos das plantas após maturação fisiológica da cultura, tendo o experimento 82 dias após a semeadura.

Alcantra *et al.* (2009) observou aumento no peso de mil grãos na cultura da soja com o aumento das doses de enxofre, sendo este linear com adubação via foliar de enxofre, cabe informar que as variedades de feijão são diferentes entre os experimentos.

Kolling e Ozelame (2017) verificaram que a cultura do feijão necessita de alta quantidade de S, pois sob condições limitantes ocorre redução na produtividade.

Os componentes de produção na cultura do feijão estão diretamente associados a nutrição da planta como relatam Fageria *et al.* (2015), Rosolem (1996), sendo que ambos reforçam que principalmente o nitrogênio e também o enxofre (por estar associado ao ciclo do nitrogênio), são de extrema importância para o bom enchimento de grãos e sua formação geral, síntese proteica e energética. O fato comentado se deve ao acúmulo de proteínas pela

leguminosa e também formação de carboidratos nos ciclos metabólicos (Rosolem, 1996; Fageria *et al.*, 2015).

A produtividade da cultura do feijão neste experimento apresentou resultado abaixo do esperado, contudo, dentro da média regional e bem acima da média nacional para a cultura segundo DERAL-PR e IBGE, respectivamente, para o ano base de 2019, sendo exposta as médias gerais dos tratamentos na Tabela 2:

Tabela 2 – Média de produtividade da cultura do feijão de cada tratamento sob efeito de doses de enxofre:

Tratamento	Produtividade Média das Parcelas (kg/ha)
0	1581,25
50	1740,25
100	1850,5
150	1805,5
200	1814,25

Indica maior produtividade média das parcelas em 100% da dose recomendada.

Quando houve a avaliação do comportamento dos tratamentos dentro da regressão foi possível verificar um comportamento quadrático (Figura 9). Pode-se observar que existe a curva completa dos tratamentos para a produtividade, sendo que a partir da dose 100% temos um decrescimento nos valores de produtividade e o ponto máximo ocorreu entre as doses 100 e 150%, exatamente na dose 141% com 2115 g/L de enxofre. Contudo, deve-se ressaltar que a partir deste ponto uma redução considerável da produtividade se demonstre na dose 150% voltando a aumentar em 200%, mas fora do comportamento da reta do gráfico e dados estatísticos (visualmente).

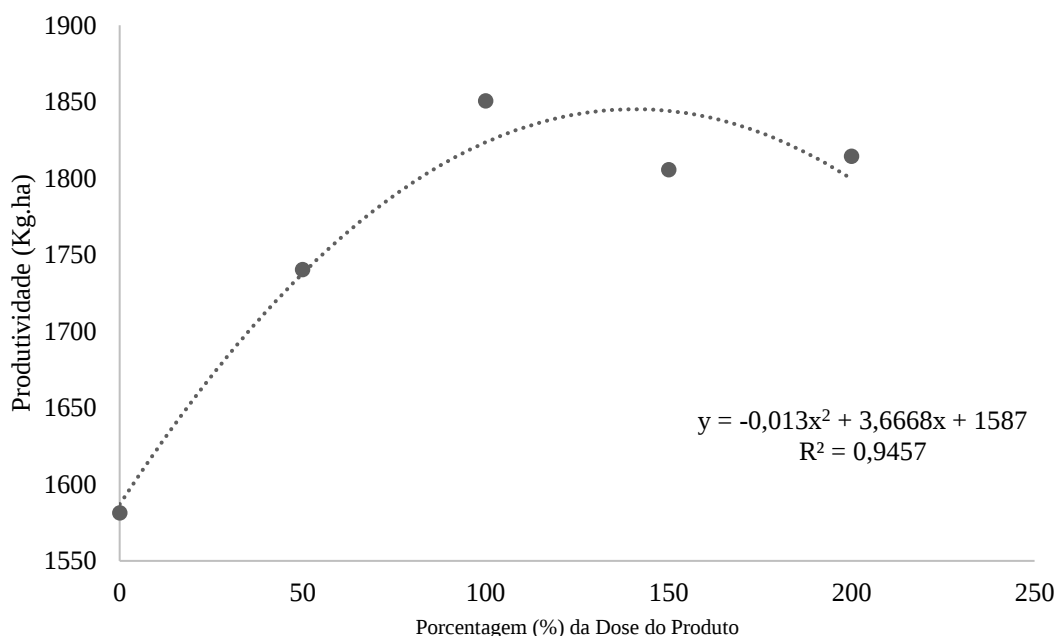


Figura 9 - Gráfico das produtividades obtidas ao final do experimento em cada tratamento.

Mello *et al.* (2017) através de aplicação foliar com doses de enxofre obteve resultados próximos aos observados neste experimento e com o mesmo comportamento gráfico, quadrático, e com um tratamento (150%) como destaque, com redução frente aos demais valores do gráfico. Lemos *et al.* (2016) obteve resultados semelhantes, porém, com um gráfico seguindo o comportamento normal de curva com redução contínua nos dois últimos

tratamentos. Lemos *et al.* (2006) apresenta em pesquisa um comportamento semelhante ao visualizado no presente experimento, se deve ao nitrogênio diretamente ligado ao crescimento das plantas como um todo, inclusive o feijão, onde temos que o enxofre por estar intimamente atrelado ao ciclo do nitrogênio promove benefícios da mesma forma que o nitrogênio, apenas com um grau menor. Cunha *et al.* (2016) propõe a mesma explicação e conclusão com gráficos bastante semelhantes, contudo, com diferença dimensional da produção em si, as quais são menores que em todas as pesquisas citadas.

CONCLUSÕES

É possível concluir que o enxofre possui efeito sobre o crescimento na cultura do feijão em todos os índices avaliados, do ponto de vista produtivo e vegetativo. Os efeitos variam de quadrático, quase sempre com a curva. Apresentando comportamento semelhante ao visualizado em outras pesquisas, com pontos de máxima próximos a dose 150% da recomendada pelo fabricante (2250 g/L de enxofre) e curvas crescentes.

Percebe-se ainda que existe a necessidade de análises mais aprofundadas sobre o assunto, com intuito de confirmação sobre os efeitos do enxofre na planta, sua importância e relação com outros nutrientes, principalmente o nitrogênio e assim aumentar o número de informações sobre o tema e identificar pontos-chaves de efeito do enxofre, separando o efeito integrado do enxofre com o nitrogênio nesta cultura de grande importância.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira**: 2012-2014. Documentos/Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, p.247, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informações sobre a cultura do feijão**. 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 11 out. 2020.

CÉSAR, M. L.; FONSECA, N. R.; TOLEDO, M. Z.; SORATTO, R. P. CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C. Aplicação de enxofre em cobertura e qualidade fisiológica de sementes de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 5, p. 681-686, 2008.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Sétimo levantamento-safra 2018/19, Brasília, v. 6, n. 7, p.152, abr. 2019.

CRAWFORD, N. M. Nitrogen and sulfur: In Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. L. (eds.), **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**. **Amer. Soc. Plant Physiol., Rockville, MD (USA)**, p. 786-847, 2000.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M. da; LEMOS, L. B. Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v.65 n.3, p.459-465, 2006.

CURY, J. P.; SANTOS, J. B.; SILVA, E. B.; BRAGA, R. R.; CARVALHO, F. P.; VALADÃO SILVA, D.; BYRRO, E. C. M. Eficiência nutricional de cultivares de feijão em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, v.31, n.1, p.79-88, 2013.

FISMES, J.; VONG, P. C.; GUCKERT, A.; FROSSARD, E. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. **European Journal of Agronomy, Netherlands**, v. 12, n. 2, p. 127-141, 2000. Disponível em: Acesso em: 23 Dez. 2020.

FURTINI NETO, A. E.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V.; SILVA, I. R. da; ACCIOLY, A. M. de. A. Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.35, n.3, p.567-573, 2000.

GIORDANO, M.; PEZZONI, V.; HELL, R. Strategies for the allocation of the resources under sulfur limitation in the green alga *Dunaliella salina*. **Plant Physiology, Rockville**, v. 124, p. 857-864, 2000. Acesso em 23 Dez. 2020.

GONTIJO NETO, G. F.; ANDRADE, M. J. B. de; POZZA, E. A.; MARTINS, F. A. D.; SOARES, B. L.; BELAN, L. L.; CARDILLO, B. E. S. Controle da antracnose e da mancha angular do feijoeiro comum com indutores de resistência. **Nucleus** v. 13 p.199-208, 2016.

JANZEN, H. H.; BETTANY, J. R. Sulfur nutrition of rapeseed: I. Influence of fertilizer nitrogen and sulfur rates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 100-107, 1984. Acesso em: 20 Dez. 2020.

KOLLING, D. F; OZELAME, O. Utilização de nitrogênio e enxofre em cobertura no feijão preto safrinha. **Scientia Agraria**, vol. 1, p. 204-211, 2017. Acesso em 10 Out. 2023.

KOPRIVA, S.; RENNENBERG, H. Control of sulphate assimilation and glutathione synthesis: interaction with N and C metabolism. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 404, p. 1831-1842, 2004.

MARSCHNER, P.; RENGEL, Z. Nutrient availability in soils. In: **Marschner's mineral nutrition of higher planta**. Academic Press, 2012. p. 315-330.

MENDES, M. C.; WALTER, A. L. B.; JUNIOR, O. P.; RIZZADI, D. A.; SCHLOSSER, J.; SZEUCZUK, K. (2014). Dose de nitrogênio associado a enxofre elementar em cobertura na cultura do milho em plantio direto. **Revista brasileira de milho e sorgo**, 13(1), 96–106. Acesso em: 13 Out. 2023.

NIKIFOROVA, VJ., BIELECKA, M., GAKIÈRE, B, KRUEGER, S., RINDER, J., KEMPA, S., MORCUENDE, R., SCHEIBLE, W.R., HESSE, H AND HOEFGEN, R. Effect of sulfur availability on the integrity of amino acid biosynthesis in plants. **Amino Acids.**, 2006, vol, 30, p.173-183.

OLIVEIRA, I. P.; ARAUJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 169-221.

PROSSER, I. A.; PURVES, J. V.; SAKER, L. R.; CLARKSON, D. T. Rapid disruption of nitrogen metabolism and nitrate transport in spinach plants deprived of sulphate. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 52, p. 113-121, 2001. Acesso em: 23 Dez. 2020.

REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. Adubação com enxofre. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 227-244, 2004.

ROSELEM, C.; MARUBAYASHI, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro: encarte de informações agrônomicas n.68. Piracicaba: **Potafos**, 1994.

RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development Environment for R. **RStudio Inc.**, Boston, MA. <http://www.rstudio.com>, 2015.

SANTI, A.L.; BASSO, C.J.; LAMEGO, F.P.; FLORA, L.P.D.; AMADO, T.J.C.; CHERUBIN, M.R. Épocas e parcelamentos da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijoeiro, grupo comercial preto e carioca em semeadura direta. **Revista Ciência Rural, Santa Maria**, v.43, n.5, p.816-822, maio, 2013.

SILVA, F.C. Interação de genótipos com ambientes para qualidade de grãos carioca e caracteres agrônomicos em feijoeiro-comum. 64 f. Dissertação (**Doutorado em genética e melhoramento de plantas**) – Universidade federal Goiás, Goiânia, GO, 2015.

SILVA, J. A. N.; CECCON, G.; ROCHA, E. C.; SOUZA, C. M. A. Produtividade de feijão-caupi e braquiária com inoculação nas sementes, em cultivo solteiro e consorciado. **Revista Agrarian**, v.9, n.31, p.44, 2016.

SOUZA, E. de F.C. de; SORATTO, R.P. Adubação nitrogenada no feijoeiro após milho safrinha consorciado com *Urochloa brizantha* e *Urochloa ruziziensis*. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, p.2669-2680, 2012.

VOGT, G. A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TREZZI, M. M.; BACKES, R. L.; NICKNICH, W. Habilidade competitiva de genótipos de feijão comum do grupo “preto” com plantas daninhas. In: Reunião técnica catarinense de milho e feijão, 9., 2013, Campos Novos. **Resumos expandidos**. Campos Novos: UNOESC, 2013.