



Unimontes

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E QUALIDADE
FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-COMUM EM
FUNÇÃO DE DOSES DE SELÊNIO E ENXOFRE**

MAICKON WILHIAN PEREIRA MEIRA

2019

MAICKON WILHIAN PEREIRA MEIRA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE FEIJÃO-COMUM EM FUNÇÃO DE DOSES DE SELÊNIO E
ENXOFRE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Orientador (a)
Prof^a. Dra. Michele Xavier Vieira Megda

JANAÚBA-MG
2019

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

Meira, Maickon Wilhian Pereira

M514c Características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de feijão-comum em função de doses de selênio e enxofre [manuscrito] / Maickon Wilhian Pereira Meira. – 2019. 63 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2019.

Orientadora: Prof^a. D. Sc. Michele Xavier Vieira Megda.

1. Feijão. 2. Selênio. 3. Sementes Qualidade. 4. Solos Teor de Enxofre. I. Megda, Michele Xavier Vieira. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 635.652

MAICKON WILHIAN PEREIRA MEIRA

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE FEIJÃO-COMUM EM FUNÇÃO DE DOSES DE SELÊNIO E
ENXOFRE**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de setembro de 2019.

Prof^ª. Dra. Michele Xavier Vieira Megda
Unimontes (Orientadora)

Prof. Dr. Marcio Mahmoud Megda
Unimontes (Coorientador)

Prof. Dr. Abner José de Carvalho
Unimontes (Conselheiro)

Prof^ª. Dra. Andréia Márcia Santos de Souza David
Unimontes (Conselheira)

Prof. Dr. Ignacio Aspiazú
Unimontes (Conselheiro)

**JANAÚBA-MG
2019**

Aos meus amados pais Agostinho e Ana Neta,

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido o privilégio de concluir o curso de mestrado;
À Unimontes pela oportunidade de realização de um curso de excelente qualidade com profissionais de alto nível;
À CAPES pela concessão da bolsa de estudos;
A Prof^ª. Dra. Michele Xavier Vieira Megda pela orientação e confiança em meu trabalho;
Ao Prof. Dr. Marcio Mahmoud Megda pela excelente coorientação o qual contribuiu de grande forma para a conclusão desse trabalho;
A Prof^ª. Dra. Andréia Márcia Santos de Souza David pela total disponibilidade do uso do laboratório de Análise de Sementes;
Aos demais membros da banca, Prof. Dr. Abner José de Carvalho e Prof. Dr. Ignacio Aspiazú pelas contribuições ao trabalho;
Aos meus queridos pais Agustinho Pereira da Mata Filho e Ana Neta Pereira Meira por serem minha base e me amparar em todos os momentos;
Aos amigos do Laboratório de Fertilidade do Solo: David, Hemilly, Mickaelly, Vanderdaik e Mireya pela valiosa ajuda na condução dos experimentos. Sem vocês, eu não teria conseguido;
Ao pesquisador da EPAMIG/Nova Porteirinha, Nívio Poubel Gonçalves pela doação das sementes;
A todos os funcionários da Unimontes *Campus* Janaúba, que contribuíram direta ou indiretamente.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	vii
GENERAL ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	9
REFERÊNCIAS	11
CAPÍTULO 1	13
CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO FEIJÃO-COMUM SUBMETIDO A DOSES DE SELÊNIO E ENXOFRE	13
1.0 INTRODUÇÃO	16
2.0 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.0 CONCLUSÕES	35
5.0 REFERÊNCIAS.....	35
CAPÍTULO 2	41
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-COMUM PROVENIENTES DE PLANTAS ADUBADAS COM SELÊNIO E ENXOFRE	41
1.0 INTRODUÇÃO	44
2.0 MATERIAL E MÉTODOS	46
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.0 CONCLUSÕES.....	58
5.0 REFERÊNCIAS.....	59
CONCLUSÕES GERAIS	63

RESUMO GERAL

MEIRA, Maickon Wilhian Pereira. **Características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de feijão-comum em função de doses de selênio e enxofre.** 2019. 63 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG¹.

Por ser uma planta leguminosa com elevado teor de proteínas, a adubação do feijoeiro-comum à base de enxofre (S) é de grande importância para o seu desenvolvimento. O selênio (Se) é considerado elemento benéfico aos vegetais e possui propriedades semelhantes ao S, podendo substituí-lo nas plantas. Entretanto, essa substituição pode ser prejudicial ao seu desenvolvimento, produtividade e qualidade das sementes. Objetivou-se avaliar as características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de feijão-comum em função de doses de Se e S. O experimento foi conduzido em duas etapas. A primeira em casa de vegetação, em que foram avaliadas as características agronômicas do feijoeiro, e a segunda no Laboratório de Análise de Sementes, no qual foram avaliadas características relacionadas à qualidade fisiológica das sementes. Os tratamentos foram dispostos no esquema fatorial 4x4, correspondendo a quatro doses de Se (0, 0,75, 2,25 e 6,75 mg dm⁻³) na forma de selenito de sódio – Na₂SeO₃ (45% de Se) e quatro doses de S (0, 35, 70 e 140 mg dm⁻³) na forma de enxofre elementar (95% de S), com quatro repetições, no delineamento em blocos casualizados. Cada parcela foi constituída por um vaso plástico com 15 dm³ de solo, contendo três plantas. O solo utilizado foi o Cambissolo Háplico Tb eutrófico coletado na camada superficial (0-20 cm), em área de pastagem natural. De forma isolada, tanto o Se como o S foram benéficos às características agronômicas da cultura, aumentando a sua produção. Já para a qualidade fisiológica das sementes o Se na dose de 2 a 3 mg dm⁻³ promoveu aumento na qualidade fisiológica das sementes. A interação dos elementos mostrou-se prejudicial em ambas etapas do experimento, prejudicando as características agronômicas do feijoeiro e reduzindo a qualidade fisiológica das sementes.

Palavras-Chave: *Phaseolus vulgaris*, interação selênio/enxofre, produção, qualidade de sementes.

¹**Comitê de Orientação:** Prof^a. Dra. Michele Xavier Vieira Megda – UNIMONTES (Orientadora); Prof. Dr. Marcio Mahmoud Megda – UNIMONTES (Coorientador); Prof. Dr. Abner José de Carvalho – UNIMONTES (Conselheiro); Prof^a. Dra. Andréia Márcia Santos de Souza David – UNIMONTES (Conselheira); Prof. Dr. Ignácio Aspiazú – UNIMONTES (Conselheiro).

GENERAL ABSTRACT

MEIRA, Maickon Wilhian Pereira. **Agronomic characteristics and physiological quality of common bean seeds as a function of selenium and sulfur doses.** 2019. 63 p. Dissertation (Master in Plant Production in the Semiárid) - State University of Montes Claros, Janaúba, MG².

As a high protein legume plant, the fertilization of sulfur-based common bean (S) is of great importance for its development. Selenium (Se) is considered a beneficial element to plants and has similar properties to S and can replace it in plants. However, this substitution can be detrimental to their development, yield and seed quality. The objective of this study was to evaluate the agronomic characteristics and physiological quality of common bean seeds as a function of Se and S doses. The experiment was carried out in two stages. The first in a greenhouse, in which the agronomic characteristics of the common bean were evaluated, and the second in the Seed Analysis Laboratory, in which characteristics related to the physiological quality of the seeds were evaluated. The treatments were arranged in a 4x4 factorial scheme, corresponding to four Se doses (0, 0.75, 2.25 and 6.75 mg dm⁻³) as sodium selenite - Na₂SeO₃ (45% Se) and four doses of S (0, 35, 70 and 140 mg dm⁻³) as elemental sulfur (95% S), with four replications, in a randomized block design. Each plot consisted of a 15 dm³ plastic pot containing three plants. The soil used was the eutrophic Haem Cambisol collected in the superficial layer (0-20 cm), in a natural pasture area. In isolation, both Se and S were beneficial to the agronomic characteristics of the crop, increasing its yield. For the physiological quality of seeds, Se at a dose of 2 to 3 mg dm⁻³ promoted an increase in physiological quality of seeds. The interaction of the elements was detrimental in both stages of the experiment, harming the agronomic characteristics of the bean and reducing the physiological quality of the seeds.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*, selenium/sulfur interaction, production, seed quality.

²**Guidance Committee:** Prof^a. Dra. Michele Xavier Vieira Megda – UNIMONTES (Advisor); Prof. Dr. Marcio Mahmoud Megda – UNIMONTES (Coadvisor); Prof. Dr. Abner José de Carvalho – UNIMONTES (Counselor); Prof^a. Dra. Andréia Márcia Santos de Souza David – UNIMONTES (Counselor); Prof. Dr. Ignácio Aspiazú – UNIMONTES (Counselor).

INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-comum é uma das principais culturas produzidas e consumidas no Brasil. Apresentando grande importância nos aspectos econômico e social, principalmente por ser um alimento que é fonte de proteína, vitaminas, ferro e sais minerais na dieta básica de grande parte da população. Sendo o Brasil considerado o terceiro maior produtor mundial de feijão em 2019.

Por ser produzido principalmente por pequenos produtores, que em sua maioria utilizam para o plantio sementes comuns, obtidas da colheita anterior, torna-se necessária a preservação da boa qualidade fisiológica das sementes durante os cultivos.

Apesar dos expressivos valores da produção brasileira, a baixa produtividade é realidade em algumas regiões, relacionada principalmente ao baixo nível tecnológico empregado por pequenos produtores, às variações climáticas e ao esgotamento da fertilidade do solo, ocasionado pela prática de cultivos sucessivos e a inobservância do manejo nutricional adequado.

Dentre os nutrientes de maior importância para a cultura está o enxofre (S), por se tratar de uma planta leguminosa com altos teores de proteína. Embora não seja objeto de preocupação na maioria dos programas de adubação, plantas deficientes em S podem limitar a produtividade da cultura. Podendo a falta do mesmo também influenciar diretamente na qualidade fisiológica das sementes.

Devido à deficiência nutricional de alguns elementos minerais na dieta da população, pesquisas relacionadas à biofortificação agrônômica têm sido desenvolvidas, com atenção voltada principalmente ao selênio (Se), elemento deficiente em torno de 15% da população mundial (GUERRERO et al., 2014). Seu uso na agricultura pode aumentar o seu teor nos alimentos, que está restrito à sua disponibilidade no solo (DURÁN et al., 2013). Em plantas, o Se é capaz de promover efeito benéfico, por possuir ação antioxidante capaz de aumentar a produção das plantas, quando aplicado em pequenas quantidades, porém sua ausência não prejudica o seu ciclo de vida.

Contudo, para seu uso na agricultura é necessário conhecer sua interação com demais elementos químicos presentes no solo, em especial ao S. Por apresentarem semelhança química, o Se é capaz de substituir o S nos organismos vegetais (SORS et al., 2005). Porém, a depender da fonte utilizada e da tolerância da cultura ao Se, essa substituição pode ser tóxica, promovendo alterações dos compostos químicos formados, podendo reduzir a produtividade e até mesmo ocasionar a morte da planta (PRADO et al., 2017).

Além de aumentar a produção, o Se também pode promover benefícios à qualidade fisiológica de sementes, melhorando a germinação e o vigor das mesmas (NAWAZ et al., 2017).

Levando em consideração a importância do S para a cultura do feijoeiro, faz-se necessário conhecer o efeito de sua interação com o Se na produtividade de plantas, além de seu efeito nas sementes produzidas, visto a necessidade da manutenção de boa qualidade fisiológica, fornecendo suporte a estudos futuros relacionados à biofortificação agrônômica com Se. Com isso, objetivou-se avaliar as características agrônômicas e a qualidade fisiológica de sementes de feijão-comum cv. BRSMG Madrepérola submetido a doses de adubação com Se e S.

REFERÊNCIAS

DURÁN, P.; ACUÑA, J. J.; JORQUERA, M. A.; AZCÓN, R.; BORIE, F.; CORNEJO, P.; MORA, M. L. Enhanced selenium content in wheat grain by co-inoculation of selenobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi: a preliminary study as a potential Se biofortification. **Journal of Cereal Science**, 57(3):275-280, 2013.

GUERRERO, B.; LLUGANY, M.; PALACIOS, O.; VALIENTE, M. Dual effects of different selenium species on wheat. **Plant Physiology and Biochemistry**, 83:300–307, 2014. Available in: <<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.08.009>>. Access in: February, 20, 2019.

NAWAZ, F.; ASHRAF, M. Y.; AHMAD, R.; WARAICH, E. A.; SHABBIR, R. N.; HUSSAIN, R. A. Selenium supply methods and time of application influence spring wheat (*Triticum aestivum* L.) yield under water deficit conditions. **The Journal of Agricultural Science**, 155(4):643-656, 2017. Available in: <<https://doi.org/10.1017/S0021859616000836>>. Access in: July, 20, 2019.

PRADO, R. M.; CRUZ, F. J. R.; FERREIRA, R. L. C. Selenium Biofortification and the Problem of its Safety. **Superfood and functional Food: an overview of their processing and utilization**, 221, 2017. Available in: <<http://dx.doi.org/10.5772/66123>>. Access in: February, 21, 2019.

SORS T.G.; ELLIS D.R.; SALT DE. Selenium uptake, translocation assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynth Res**, 86:373-389, 2005. Available in: <<https://doi.org/10.1007/s11120-005-5222-9>>. Access in: March, 20, 2019.

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO FEIJÃO-COMUM SUBMETIDO A DOSES DE SELÊNIO E ENXOFRE

(Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Ciência e Agrotecnologia)

RESUMO

MEIRA, Maickon Wilhian Pereira. **Características agronômicas do feijão-comum submetido a doses de selênio e enxofre**. 2019. Cap. 1. p. 14-39. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG³.

O selênio (Se), elemento benéfico aos vegetais, apresenta semelhança química com o enxofre (S), sendo capaz de substituí-lo. Sua ação antioxidante pode elevar a produtividade de culturas agrícolas e, ou causar alterações morfológicas nas plantas, dependendo do seu teor no solo. Assim, para a utilização do Se na agricultura é importante conhecer os efeitos de sua interação com o S, em especial na cultura do feijão, por ser exigente nesse nutriente. Objetivou-se avaliar as características agronômicas do feijão-comum submetido a doses combinadas de Se e S. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4x4, correspondendo a quatro doses de Se (0, 0,75, 2,25 e 6,75 mg dm⁻³) na forma de selenito de sódio – Na₂SeO₃ (45% de Se) e quatro doses de S (0, 35, 70 e 140 mg dm⁻³) na forma de enxofre elementar (95% de S). O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela foi constituída por um vaso plástico com 15 dm³ de solo, contendo três plantas. O solo utilizado foi um Cambissolo Háplico Tb eutrófico. A interação dos elementos Se e S foi prejudicial ao feijoeiro. Porém, de forma isolada, ambos promoveram incremento nas características morfológicas e produtivas da cultura. A adubação com S aumentou o número de folhas por planta, área foliar, comprimento de vagens e número de grãos por vagem e o Se promoveu aumento no número de flores, número de vagens por planta, matéria seca da parte aérea e relação parte aérea/raiz, sendo a produção de grãos aumentada em 104,3% com o S e 88% com o Se, quando comparado ao controle.

Palavras-Chave: *Phaseolus vulgaris*, interação selênio/enxofre, produção de grãos.

³**Comitê de Orientação:** Prof^a. Dra. Michele Xavier Vieira Megda – UNIMONTES (Orientadora); Prof. Dr. Marcio Mahmoud Megda – UNIMONTES (Coorientador); Prof. Dr. Abner José de Carvalho – UNIMONTES (Conselheiro); Prof^a. Dra. Andréia Márcia Santos de Souza David – UNIMONTES (Conselheira); Prof. Dr. Ignácio Aspiazú – UNIMONTES (Conselheiro).

ABSTRACT

MEIRA, Maickon Wilhian Pereira. **Agronomic characteristics of common beans submitted with selenium and sulfur doses.** 2019. Ch. 1 p. 14-39. Dissertation (Master in Crop Production in the Semiarid) - State University of Montes Claros, Janaúba, MG⁴.

Selenium (Se), a beneficial element for vegetables, has a chemical similarity to sulfur (S) and is able to replace it. Its antioxidant action may increase the productivity of agricultural crops and, or cause morphological changes in plants, depending on their soil content. Thus, for the use of Se in agriculture it is important to know the effects of its interaction with S, especially in bean crop, as it is demanding in this nutrient. The objective of this study was to evaluate the agronomic characteristics of common bean submitted to combined doses of Se and S. The treatments were arranged in a 4x4 factorial scheme, corresponding to four doses of Se (0, 0.75, 2.25 and 6.75 mg dm⁻³) as sodium selenite - Na₂SeO₃ (45% Se) and four doses of S (0, 35, 70 and 140 mg dm⁻³) as elemental sulfur (95% S). The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized block design with four replications. Each plot consisted of a 15 dm³ plastic pot containing three plants. The soil used was a eutrophic Haplic Cambisol. The interaction of Se and S elements was detrimental to common bean. However, in isolation, both promoted an increase in the morphological and productive characteristics of the crop. Fertilization with S increased the number of leaves per plant, leaf area, pod length and number of grains per pod. The Se increased the number of flowers, number of pods per plant, shoot dry matter and shoot/shoot ratio grain yield increased by 104.3% with S and 88% with Se when compared to control.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*, selenium/sulfur interaction, grain production.

⁴**Guidance Committee:** Prof^a. Dra. Michele Xavier Vieira Megda – UNIMONTES (Advisor); Prof. Dr. Marcio Mahmoud Megda – UNIMONTES (Coadvisor); Prof. Dr. Abner José de Carvalho – UNIMONTES (Counselor); Prof^a. Dra. Andréia Márcia Santos de Souza David – UNIMONTES (Counselor); Prof. Dr. Ignácio Aspiazú – UNIMONTES (Counselor).

1.0 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta herbácea, pertencente à família Fabaceae, cultivada durante todo ano em diversas regiões do mundo. A espécie apresenta grande importância na alimentação de grande parte da população mundial, devido ao elevado teor proteico de seus grãos (Barbosa e Gonzaga, 2012). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial (Faostat, 2018), com produção de 3,13 milhões de toneladas (Conab, 2019), além de ser o segundo maior consumidor (Brasil, 2016).

Mesmo com sua grande importância econômica e social a baixa produtividade em algumas regiões ainda é realidade, devido ao baixo nível tecnológico empregado por pequenos produtores, à irregularidade de chuvas e, principalmente, ao esgotamento da fertilidade do solo (César et al., 2008), relacionada a cultivos sucessivos sem reposição de nutrientes. Além das perdas em produtividade, a qualidade nutricional dos alimentos é afetada, visto que sua composição irá depender dos teores dos elementos químicos presentes no solo (Fordyce et al., 2013; Hawrylak-Nowak, 2013 e Joy et al., 2015). Nesse sentido, elementos químicos como o selênio (Se) que é essencial para o correto funcionamento do organismo de seres humanos e animais, tornam-se deficientes em grande parte da população (White, 2016).

O Se é um elemento considerado benéfico aos vegetais, por promover atividade antioxidante o mesmo é capaz de agir sobre os radicais livres, atrasando a senescência das plantas e mantendo-a ativa por maior período de tempo (Turakainen et al., 2005; Ramos et al., 2011), o que pode influenciar em ganhos de produtividade (Nelson e Cox, 2014). Corbo et al. (2018), observaram aumentos na produção de grãos de feijão-comum de até 40% na dose máxima de 500 g ha⁻¹ de Se. Rezende et al. (2011), também observaram aumento da produção de grãos de soja com a aplicação de Se via solo.

Em função da sua essencialidade ao ser humano e seus efeitos benéficos o Se apresenta grande potencial de uso na agricultura. No entanto, para sua utilização na agricultura faz-se necessário entender melhor a interação do mesmo com os demais nutrientes presentes no solo, em especial, o enxofre (S). Por apresentar semelhança química com esse nutriente o Se pode substituí-lo no interior da planta, causando alterações químicas dos compostos formados (Asfandiyar et al., 2017). Por serem ambos compartilhadores das mesmas vias metabólicas, competem por processos metabólicos responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento das plantas (Sors et al., 2005), assim as doses de ambos devem ser ajustadas.

Nos vegetais, a concentração de S varia entre 1,0 e 3,0 g kg⁻¹ e está relacionada à formação de inúmeros compostos, como os aminoácidos cisteína e metionina, proteínas, coenzimas, nucleotídeos entre outros, presente em todos os processos do ciclo de vida das plantas, da absorção iônica até os processos relativos à formação do DNA e RNA (Stipp e Casarin, 2010). Plantas de feijão deficientes em S possuem baixo vigor, apresentando atrofia, caules finos e folhas verdes-pálidas a amareladas, com redução do número de ramos, flores e vagens, levando à baixa produtividade de grãos (Oliveira et al., 1996; Ramírez et al., 2014). Dessa forma, maior importância deste nutriente em programas de adubação é imprescindível para garantir a produtividade do feijoeiro (Furtini Neto et al., 2000; Rezende et al., 2009; Stipp e Casarin, 2010).

Rezende et al. (2009) observaram aumento de produtividade na soja com o uso de S elementar. Crusciol et al. (2006) constataram aumento da produtividade na cultura do feijão-comum na dose de 49 kg ha⁻¹ de S. Contudo, é um dos nutrientes menos empregados nas adubações e negligenciado pela maioria dos produtores, sendo fornecido na maioria das vezes de forma indireta durante a aplicação de outros fertilizantes e defensivos (Ferrari et al., 2015).

Com base no exposto, fica evidente a importância de estudos envolvendo o uso do Se na agricultura e de sua interação com o S no desenvolvimento e produtividade das plantas, especialmente o feijoeiro, visto que este é altamente exigente em S. Considerado o terceiro nutriente mais exportado pela cultura, a cada 1.000 kg de grãos são exportados, aproximadamente, 5,4 a 6,0 kg de S, o que representa em torno de 25% da quantidade absorvida (Oliveira et al., 1996). Considerando que o suprimento combinando desses elementos podem promover alterações em sua morfologia e produtividade, objetivou-se avaliar as características agronômicas do feijão-comum submetido a doses combinadas de Se e S.

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação, com temperaturas variando entre 18 a 25°C. Utilizou-se a cultivar de feijão-comum cv. BRSMG Madrepérola, que se destaca principalmente pela qualidade dos grãos, elevado potencial produtivo e resistência ao vírus do mosaico comum (*Bean common mosaic virus*) e a várias raças de antracnose (*Colletotrichum* sp) (Carneiro et al., 2012).

O experimento foi disposto em esquema fatorial 4x4, correspondendo a quatro doses de Se (0, 0,25, 2,25 e 6,75 mg dm⁻³) na forma de selenito de sódio – Na₂SeO₃ (45% de Se) e quatro doses de S (0, 35, 70 e 140 mg dm⁻³) na forma de enxofre elementar (95% de S). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela foi constituída por um vaso plástico com 15 dm³ de solo, contendo três plantas.

O solo foi coletado na camada superficial (0-20 cm) em área de pastagem natural e classificado como Cambissolo Háplico Tb eutrófico (Embrapa, 2013). Após a coleta, o mesmo foi destorroado e levado para secar ao ar, em seguida passado em peneira de malha 2 mm de diâmetro, obtendo-se a terra fina seca ao ar. A seguir procedeu-se análise físico-química do

solo, incluindo teor de Se, sendo as mesmas descritas a seguir: pH (CaCl₂): 5,0; MO: 3,7 dag kg⁻¹; P: 2,8 mg dm⁻³; K: 184 mg dm⁻³; Ca: 1,8 cmol_c dm⁻³, Mg: 0,7 cmol_c dm⁻³; H+Al: 2,6 cmol_c dm⁻³; CTC₇: 5,6 cmol_c dm⁻³; SB: 3,0 cmol_c dm⁻³; V: 50%, S: 0,8 mg dm⁻³; Se < 0,5 mg dm⁻³, B: 0,4 mg dm⁻³, Zn: 1,2 mg dm⁻³, Mn: 85,9 mg dm⁻³, Cu: 0,4 mg dm⁻³, Silte: 29,8%, Argila: 28% e Areia: 42,2%. Para a correção da acidez utilizou-se calcário dolomítico (53% de cálcio, 18% de magnésio e PRNT 120%), visando atingir 70% da saturação por bases. Em seguida o solo foi incubado por 30 dias, sendo mantida a umidade a 60% da capacidade de campo.

Antes do plantio as sementes foram tratadas com fungicidas Carboxin+Thiram (Vitavax Thiram 200 SC®) na dose de 5 mL kg⁻¹ de sementes. No momento do plantio realizou-se fertilização básica para todos os tratamentos com 50 mg de N na forma de CH₄N₂O, 64 mg de P₂O₅ na forma de fosfato monoamônico (MAP), 0,6 mg de B na forma de H₃BO₃, 1,6 mg de Cu na forma de CuCl₂, 25,8 mg de Fe na forma de FeCl₃.6H₂O, 0,15 mg de Mo na forma de (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O e 1,3 mg de Zn na forma de ZnO por dm³ de solo. Os tratamentos à base de S foram aplicados no plantio e o Se via solução, dez dias após a emergência das plantas. Na adubação de cobertura, realizada no estágio V4, ou seja, 22 dias após a emergência (DAE), foram aplicados 50 mg dm⁻³ de N na forma de CH₄N₂O em todos os tratamentos.

A semeadura foi realizada diretamente nos vasos, com 10 sementes por vaso e aos 5 DAE realizou-se o desbaste, a fim de manter três plantas por vaso. A irrigação ocorreu de modo a manter a umidade do solo próxima a 60% da capacidade de campo, por meio de pesagem diária dos vasos. Durante todo o período experimental realizou-se o manejo fitossanitário de acordo com a necessidade da cultura, além da observação de possíveis alterações morfológicas.

Foram avaliadas as seguintes características: índice de clorofila (SPAD), por meio de medidor portátil eletrônico de clorofila, modelo Minolta SPAD-502, o qual foi estimado a partir de três leituras, realizada no terço médio das plantas de cada parcela, em folhas totalmente

expandidas aos 35 dias após o plantio (DAP); número de flores por planta (NFL) aos 35 DAP; na ocasião de colheita por volta dos 88 DAP, quando as vagens apresentavam 18% de umidade, foi determinado o número de folhas por planta (NFO); altura média das plantas (AP), medida da base até o ápice; área foliar do folíolo central (AF), obtida por meio da metodologia descrita por Kemp (1960); número de vagens por planta (NVP); altura de inserção da primeira vagem (AIPV); número de grãos por vagem (NGV); produção de grãos por planta (PGP); massa média de 100 grãos (MCG).

Após a colheita as plantas foram separadas em parte aérea e raiz, acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, até obtenção de massa constante. Posteriormente, o material foi pesado para obtenção da massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e de raízes (MSRA), obtendo-se também a relação parte aérea/raiz (RPAR), por meio da relação MSPA/MSRA.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e nos casos de significância pelo teste F ($p < 0,05$), para a interação Se x S efetuou-se o estudo de regressão polinomial, com análise em superfície de resposta. Procedeu-se também o estudo das correlações de Pearson entre as variáveis estudadas. Para isso, utilizou-se o software de análises estatísticas R.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis índice de clorofila (SPAD), massa média de 100 grãos (MCG), massa seca de raízes (MSRA) e altura de inserção da primeira vagem (AIPV), as quais apresentaram, respectivamente os valores médios de 39,4, 20,1 g, 2,1 g/planta e 23,4 cm, não apresentaram diferença significativa. O valor obtido para MCG encontra-se próximo do valor máximo potencial da cultura para o grupo comercial “carioca”, do qual faz parte a cv. BRSMG Madrepérola, que é de 24,5 gramas (Carneiro et al., 2012). A AIPV é considerada adequada,

sendo o valor superior a 15 cm, representando manutenção do potencial de colheita mecanizada (Rocha et al., 2011). O índice SPAD encontrado, próximo ao valor de 40, indica adequado desenvolvimento fisiológico e atividade fotossintética do feijoeiro (BARBOSA FILHO et al., 2009 e SALGADO et al., 2012).

A interação Se x S foi significativa para altura de plantas (AP) do feijoeiro, com ajuste ao modelo de regressão linear decrescente, promovendo redução da mesma em todas as combinações quando comparado ao controle, que apresentou o máximo valor de 114,4 cm (Figura 1a). A menor AP, 73,3 cm, foi observada na interação das doses 3,25 e 140 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, o que representa redução de 36% comparado ao controle. De forma isolada tanto o Se como o S promoveram efeitos significativos para a AP. Com ajuste linear decrescente para as doses de S e quadrático para o Se, porém os tratamentos com Se apresentaram redução mais expressiva que o S, quando observados de forma isolada.

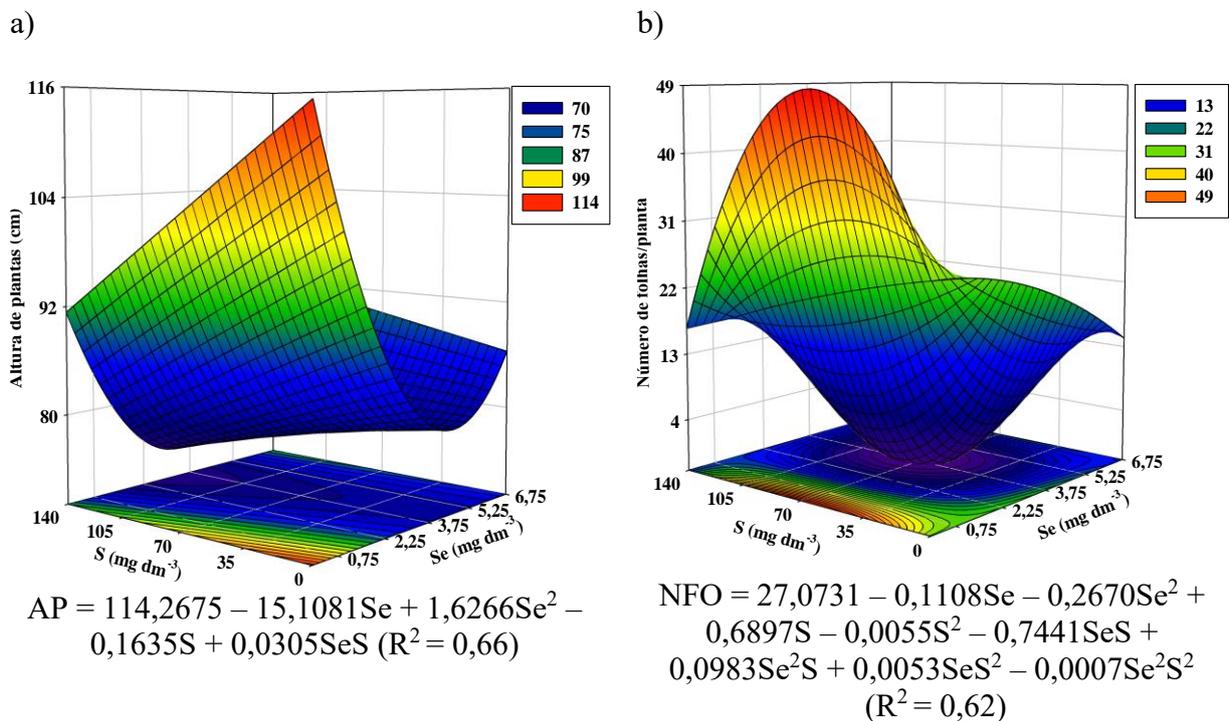


Figura 1- Altura de plantas (a) e número de folhas (b) de feijão-comum submetido a doses de selênio e enxofre.

A altura de plantas é uma das características que determinam o porte e a eficiência da colheita mecanizada, sendo desejáveis plantas com altura superior a 50 cm e com boa resistência ao acamamento a fim de reduzir perdas (Barros et al., 2013 e Oliveira et al., 2015). A cultivar em estudo, Madrepérola, possui hábito de crescimento indeterminado tipo III, podendo sua haste principal chegar facilmente aos 120 cm, apresentando assim baixa resistência ao acamamento (Vieira et al., 2005). Nesse sentido, a redução do porte das plantas dessa cultivar se torna positivo, pois pode reduzir o risco de acamamento.

Cavalli et al. (2016), estudaram a aplicação de doses de potássio e enxofre via foliar na cultura da soja e não observaram diferenças para a produção das plantas, no entanto constataram redução significativa na altura com a aplicação de enxofre, sendo a maior altura obtida na ausência do nutriente.

O Se proporcionou efeito semelhante ao S reduzindo consideravelmente a AP, a semelhança química entre esses elementos permite que o Se substitua o S no organismo vegetal (White, 2016), pois ambos possuem a mesma rota de transporte e assimilação (Ramos et al., 2011). Em baixas concentrações, o Se, apresenta efeito benéfico em algumas plantas, devido ao aumento da atividade antioxidante, além de retardar a senescência, podendo promover o seu crescimento (Lyons et al., 2009 e Ramos et al., 2011), mesmo não estando diretamente ligado a nenhuma rota do crescimento nas plantas (Reis et al., 2018).

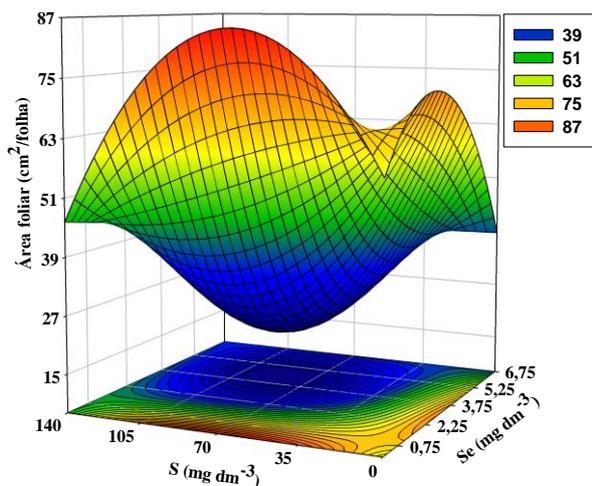
No entanto, elevadas concentrações podem promover a formação de selenocisteína e selenometionina, que pode ocasionar a desnaturação de proteínas e disfunções metabólicas enzimáticas, visto que a função desempenhada por esses aminoácidos não é a mesma desempenhada pelos sulfurados, cisteína e metionina, ocasionando assim redução no crescimento vegetal (Nelson e Cox, 2014). A concentração capaz de promover efeito tóxico é variável, irá depender do nível de tolerância da cultura e da fonte utilizada (Prado et al., 2017).

Smrkoj et al. (2007), avaliaram quatro cultivares de feijão-comum em casa de vegetação em dois sistemas de cultivo, via solo e hidropônico, com objetivo de promover a biofortificação do grão. Os pesquisadores notaram redução na altura de todas as cultivares em função da adição de Se em ambos os cultivos.

A interação Se x S foi significativa para o número total de folhas por planta (NFO), como apresentado na Figura 1b, com ajuste ao modelo de regressão quadrático, sendo que a combinação dos elementos nas doses 2,3 e 108 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, promoveu o menor NFO, 6,0 folhas/planta, o que representa redução de 74%, quando comparado ao controle com 27 folhas. Porém, a aplicação isolada de S promoveu incremento a esse parâmetro, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão, sendo o maior NFO, 49 folhas/planta, obtido na dose de 65 mg dm⁻³ de S, representando incremento de 81% em relação ao controle. A aplicação isolada de Se não apresentou mudança nesta característica, comparado ao controle. Ao contrário do ocorrido nesse estudo Pereira et al. (2016) não observaram diferença no número de folhas em função do S aplicado via solo em soja.

Para área foliar do folíolo central, observou-se interação significativa entre as doses de Se e S (Figura 2a). O menor valor, 18,41 cm², foi encontrado nas doses 4,42 e 82,06 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, o que representa redução de 31,4% comparado ao tratamento controle. Tanto o Se como o S, promoveram incremento para AF quando aplicados isoladamente, com ajuste ao modelo de regressão quadrático para ambos, porém o S apresentou variação mais expressiva que o Se, sendo a máxima AF, 85,2 cm², obtida na dose 62,75 mg dm⁻³ de S, representando incremento de 45,3%, comparado ao controle. A aplicação isolada do Se também foi capaz de promover incremento na AF, com maior valor de 72,7 cm², encontrado na dose de 2,56 mg dm⁻³ de Se, representando incremento de 24%.

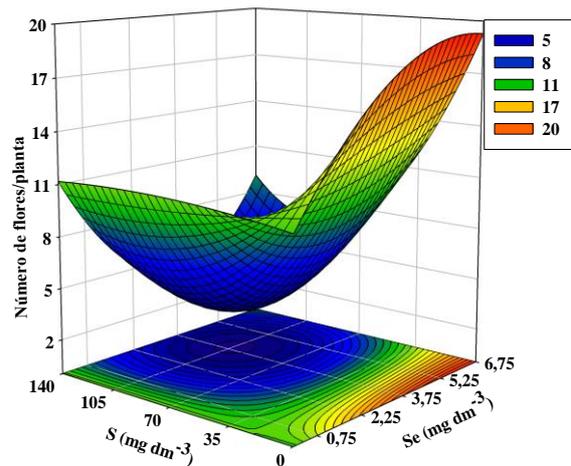
a)



$$AF = 58,642 + 10,6783Se - 2,0201Se^2 + 0,8431S - 0,0067S^2 - 1,0780SeS + 0,1410Se^2S + 0,0071 SeS^2 - 0,0009Se^2S^2$$

$(R^2 = 0,33)$

b)



$$NFL = 10,8722 + 2,7364Se - 0,2189Se^2 + 0,01132S - 0,0000645S^2 - 0,1345SeS + 0,01403Se^2S + 0,000631SeS^2 - 0,000063Se^2S^2$$

$(R^2 = 0,91)$

Figura 2- Área foliar (a) e número de flores (b) de feijão-comum submetido a doses de selênio e enxofre.

Em estudo de biofortificação baixas concentrações de Se também promoveram incremento na AF em plantas de alface (Prado et al., 2017), com ajuste ao modelo de regressão quadrático. A área foliar é um importante parâmetro no estudo da morfologia vegetal, funcionando como um indicador fundamental na compreensão das respostas das plantas a fatores ambientais específicos (Lopes et al., 2004).

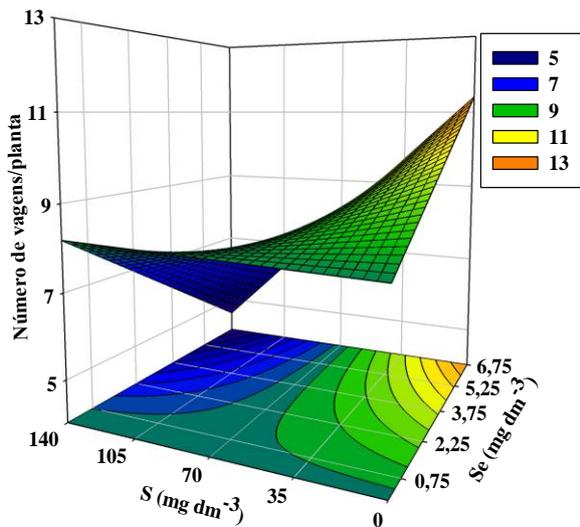
A interação Se x S foi significativa para o número de flores (NFL) sendo o menor valor, 2,6 flores/planta, obtido nas doses 3,95 e 101,37 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, redução de 76% comparado ao controle, como apresentado na Figura 2b. A aplicação isolada de Se, promoveu aumento no florescimento das plantas, ajustando-se ao modelo de regressão quadrático. O maior NFL, 19,4 flores/planta, foi obtido na dose de 6,05 mg dm⁻³ de Se, incremento de 78,4% quando comparado ao controle. Por outro lado, a aplicação isolada de S, não apresentou variação, mantendo o NFL semelhante ao do controle 10,8 flores/planta.

Oliveira et al. (1996) relataram o importante papel do S no florescimento de plantas, sendo que plantas de feijoeiro deficientes em S apresentam coloração verde-pálida a amarelada, com redução no florescimento. Nesse experimento não foi observado sintomas de deficiência ou excesso nas plantas. A mínima quantidade de S presente no solo foi suficiente para garantir o florescimento e o aumento das doses não afetou essa característica. A atividade antioxidante promovida pelo Se é benéfica a diversas características referente ao desenvolvimento e produção vegetal (Feng et al., 2013), sendo o aumento do número de flores característico de ganhos em produção final de grãos.

Eulisse Carmichael (2004) trabalhando com o cultivo de canola (*Brassica napus*), em solução nutritiva contendo 2 mg dm^{-3} de Se na forma de selenito de sódio, observaram atraso e redução no florescimento das plantas. Esses resultados foram considerados incomuns pelos autores, visto que a canola é considerada tolerante a áreas com altas concentrações de Se. Segundo os autores isso ocorreu em função da constante disponibilidade do elemento na solução nutritiva, o que causou toxicidade às plantas, no solo o selenito está associado aos componentes, apresentando disponibilidade reduzida e menor toxicidade às plantas (Rovira et al., 2008), como ocorre nesse estudo.

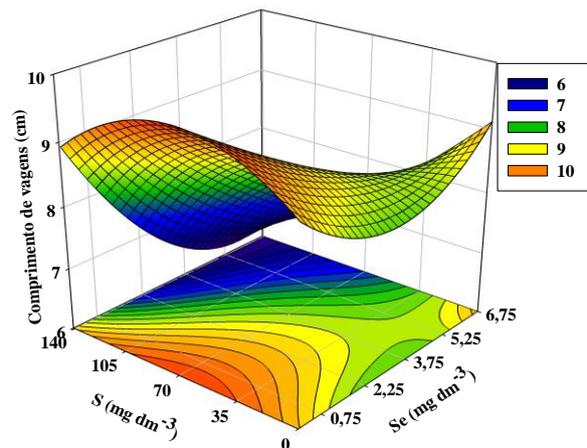
Para o número de vagens por planta (NVP) a interação Se x S ajustou-se ao modelo de regressão linear decrescente (Figura 3a), reduzindo consideravelmente esta característica, sendo o menor valor, 4,56 vagens/planta, obtido na dose $6,75$ e $140,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de Se e S, respectivamente, reduzindo em 56,9% o NVP em comparação ao controle. Ao observar o efeito isolado dos elementos, observa-se que as doses de S não diferiram do tratamento controle. Já o Se promoveu incremento linear a esta característica, sendo o maior valor, 11,4 vagens/planta, encontrado na máxima dose de Se aplicada, $6,75 \text{ mg dm}^{-3}$, com aumento de 42,3% comparado ao controle.

a)



$$\text{NVP} = 8,0134 + 0,5023\text{Se} - 0,0074\text{SeS} \quad (R^2 = 0,30)$$

b)



$$\text{CV} = 9,02163 - 0,4895\text{Se} + 0,07455\text{Se}^2 + 0,02218\text{S} - 0,0001629\text{S}^2 + 0,006348\text{SeS} - 0,0020443\text{Se}^2\text{S} - 0,0000698\text{SeS}^2 + 0,0000151\text{Se}^2\text{S}^2 \quad (R^2 = 0,82)$$

Figura 3- Número de vagens por planta (a) e comprimento de vagens (b) de feijão-comum submetido a doses de selênio e enxofre.

Neste estudo constatou-se que mesmo a adubação com Se sendo capaz de promover taxa de florescimento superior ao uso do S de forma isolada, como apresentado anteriormente (Figura 2b), houve alta taxa de abortamento floral, ou seja, nem todas as flores produziram vagens (Figura 3a). Já o S manteve o NFL e, conseqüentemente, o NVP. Segundo Didonet e Silva (2004), a cultura do feijão promove abortamento natural em flores e vagens menores que 2 cm, com taxa variável entre cultivar e decorrente de fatores ambientais. Isso ocorre em meio ao balanço fotossintético realizado pela planta, determinando que vagens com reduzida capacidade produtiva sejam abortadas.

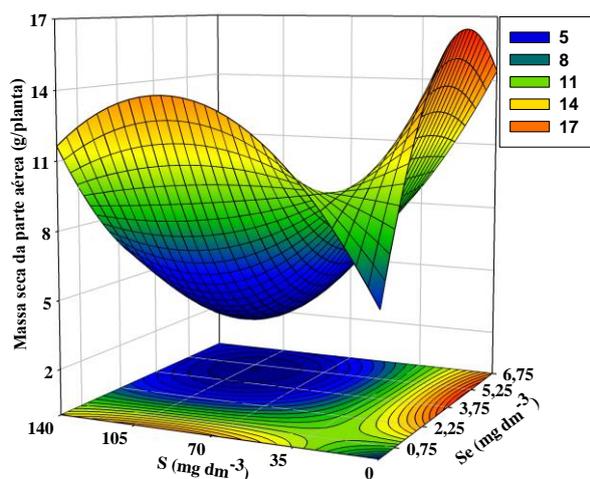
Com relação aos tratamentos apenas com S, os resultados deste estudo contrariam os obtidos por Crusciol et al. (2006), que observaram aumento do NVP com a aplicação de S em cobertura na cultura do feijão-comum em sistema de plantio direto.

Para o comprimento das vagens (CV), houve interação significativa entre as doses de Se e S, as quais reduziram significativamente o CV (Figura 3b), sendo o menor valor, 6,15 cm, obtido na combinação 5,81 e 140 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, reduzindo em 68,2% quando comparado ao controle. O S promoveu efeito significativo na dose zero de Se, ajustando-se ao modelo de regressão quadrático, com o maior comprimento, 9,8 cm, observado na dose 62,75 mg dm³ de S, o que representa aumento de 8,6% em comparação ao controle.

A interação Se x S foi significativa para a massa seca da parte aérea (MSPA), ajustando-se ao modelo de regressão quadrático, a qual promoveu redução considerável dessa variável (Figura 4a). O menor valor, 2,6 g/planta, foi observado nas doses de 4,88 e 101,58 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, refletindo em redução de 44% no teor de MSPA, em comparação ao controle. A aplicação isolada de Se e o S promoveu incremento na MSPA, com ajuste ao modelo de regressão quadrático para ambos, porém com maior variação nas doses de Se. O máximo valor de 16,5g/planta, foi obtido na dose de 4,42 mg dm⁻³ de Se, representando incremento de 179% na MSPA, comparado ao controle. O incremento proporcionado pelo S foi relativamente menor, porém bastante significativo para esta característica, com valor máximo de 13,9g/planta na dose 91,72 mg dm⁻³ de S, aumentando em 135% a MSPA, comparado ao controle.

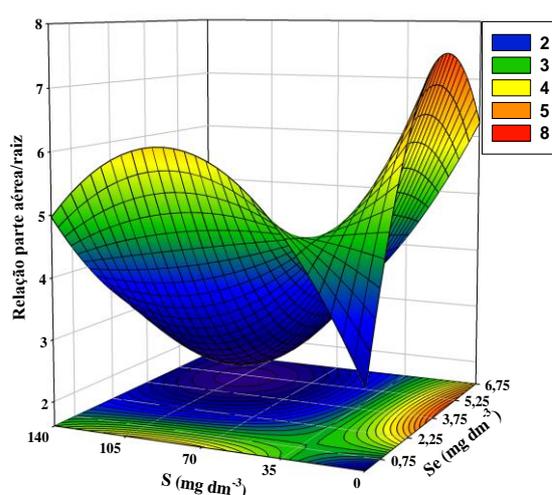
Resultados semelhantes foram obtidos por Furtini Neto et al. (2000), em experimento realizado em casa de vegetação, com três cultivares de feijão-comum. Os autores constataram incremento na matéria seca de todas as cultivares, com máxima produção obtida entre as doses 70 e 90 mg dm⁻³ de S.

a)



$$\begin{aligned} \text{MSPA} = & 5,9152 + 4,5202\text{Se} - 0,4822\text{Se}^2 + \\ & 0,1759\text{S} - 0,0009646\text{S}^2 - 0,1911\text{SeS} + \\ & 0,02019\text{Se}^2\text{S} + 0,0009926\text{SeS}^2 - \\ & 0,0001055\text{Se}^2\text{S}^2 \quad (\text{R}^2 = 0,70) \end{aligned}$$

b)



$$\begin{aligned} \text{RPAR} = & 2,8185 + 2,1106\text{Se} - 0,2374\text{Se}^2 + \\ & 0,0761\text{S} - 0,0004346\text{S}^2 - 0,07955\text{SeS} + \\ & 0,008531\text{Se}^2\text{S} + 0,0004188\text{SeS}^2 - \\ & 0,0000452\text{Se}^2\text{S}^2 \quad (\text{R}^2 = 0,71) \end{aligned}$$

Figura 4 - Massa seca da parte aérea (a) e relação parte aérea/raiz (b) de feijão-comum submetido a doses de selênio e enxofre.

Crusciol et al. (2006), trabalhando com a cultura do feijão-comum em plantio direto, também observaram incremento na matéria seca das plantas, avaliadas no período do florescimento, na dose máxima de 51 kg ha⁻¹ de S. Djanaguiraman et al. (2005) realizaram experimento a fim de observar o efeito antioxidante do Se aplicado via foliar em plantas senescentes de soja. Os resultados demonstraram efeito significativo na matéria seca total, com aumento de 13% quando comparado ao controle. Na presença do Se, as plantas são capazes de combater o estresse oxidativo, mantendo-se assim fisiologicamente ativas por maior período, aumentando a produção vegetal (Turakainen et al., 2005 e Ramos et al., 2011).

Cartes et al. (2005) a fim de verificar a atividade antioxidante do Se na cultura do azevém, realizaram experimento em casa de vegetação com aplicação de doses de Se no solo, até 10 mg kg⁻¹. A adição de Se, na forma de selenito, não afetou a produção de matéria seca das

plantas. Porém, quando as plantas foram adubadas com selenato, o crescimento destas foi reduzido consideravelmente.

A relação parte aérea/raiz (RPAR) se comportou de forma semelhante à MSPA, ocorrendo interação significativa para as doses de Se e S (Figura 4b), com menor valor de 1,89, obtido nas doses 5,12 e 101,37 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, redução de 67,1% comparado ao controle. Assim como na MSPA, as doses de Se e S, promoveram efeito positivo, quando aplicadas isoladamente, com ajuste ao modelo de regressão quadrático, sendo a maior variação encontrada para as doses de Se, cuja maior RPAR, 7,5, foi obtida na dose 4,42 mg dm⁻³, com incremento de 166%, comparado ao controle. O aumento promovido pelo S foi inferior, sendo a maior RPAR, 6,1, obtida na dose 86,7 mg dm⁻³, ganho de 116,4% comparado ao controle.

Não foram observadas mudanças no padrão de alocação de fotoassimilados para as raízes. Essa alteração ocorre normalmente em condições de estresse nutricional, em que a planta aumenta o volume radicular em detrimento da parte aérea, na busca por recursos como água e nutrientes (Clarkson, 1985). Neste estudo, as plantas encontravam-se em condições ideais de temperatura, umidade e nutrição, por isso houve maior investimento na produção de parte aérea com a adição dos tratamentos.

Resultados similares foram observados por Furtini Neto et al. (2000), os quais observaram pequeno incremento na produção de raízes do feijoeiro com a adição de S ao solo, sendo que as doses que promoveram a máxima produção de massa seca da parte aérea reduziram o valor da relação raiz/parte aérea, em todas as cultivares estudadas. Ou seja, o uso do S incrementou a massa seca parte aérea, com pouca mudança na quantidade de raízes.

A combinação das doses de Se e S apresentou interação significativa para o número de grãos por vagem (NGV), sendo as doses 6,75 e 140 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, as que

promoveram menor valor, 6,3 grãos/vagem, reduzindo em 74% o NGV em relação ao controle (Figura 5a). O Se e o S promoveram efeito significativo de forma isolada, sendo observado incremento apenas para o S, o qual aumentou o NGV para 8,91 grãos, na dose 43,44 mg dm⁻³ de S, o que representa aumento de 4,3% comparado ao controle.

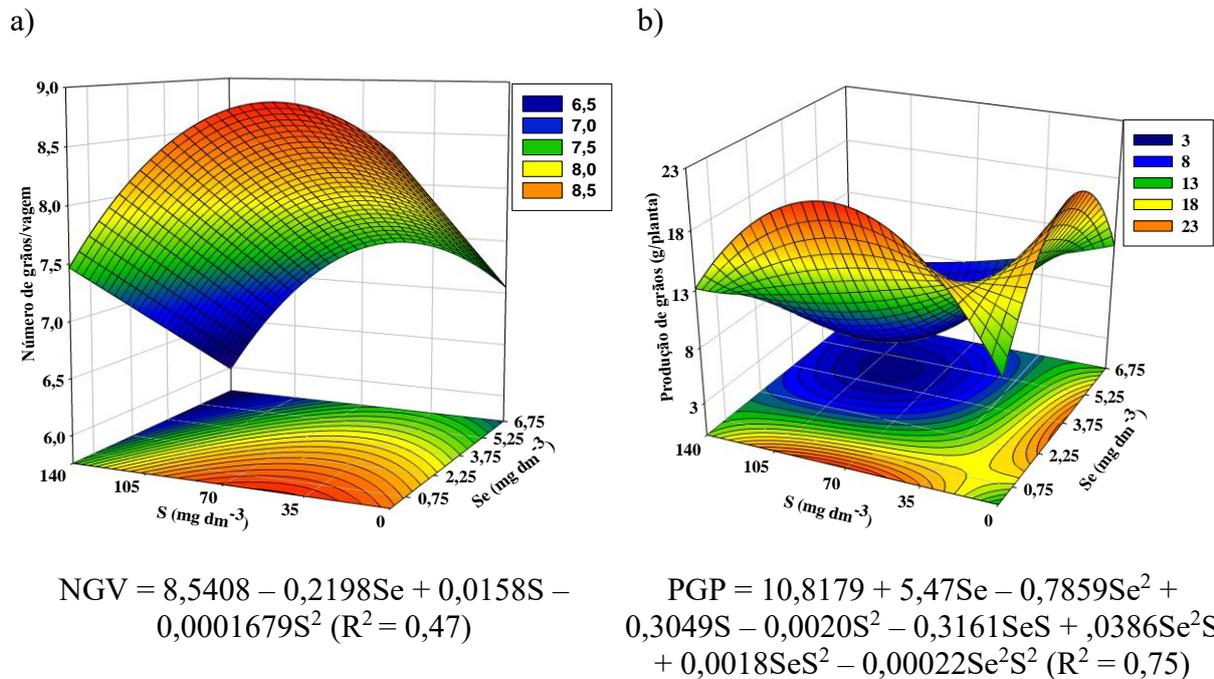


Figura 5- Número de grãos por vagem (a) e produção de grãos por planta (b) de feijão-comum submetido a doses de selênio e enxofre.

A interação da dose máxima de ambos elementos se mostrou tóxica à cultura, afetando negativamente o NGV. Além disso, o incremento promovido pelo S é mínimo, pois esta é uma característica de alta herdabilidade genética, sendo pouco influenciada pelo ambiente (Andrade et al., 1998).

Para a produção de grãos por planta (PGP), a interação Se x S foi significativa. As doses 4,65 e 96,55 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, promoveram a menor produção por planta, 3,57 g/planta, o que representa redução de 67% comparado ao controle (Figura 5b). Porém, assim como observado para outras características, a aplicação isolada de Se e S promoveram efeitos positivos, sendo que ambos ajustaram-se ao modelo de regressão quadrático. O S

promoveu maior produção por planta, 22,1 g/planta, na dose 72,41 mg dm⁻³ de S, o que representa aumento de 104,3% em relação ao controle. Para o Se o valor máximo obtido foi de 20,34 g/planta, na dose de 3,5 mg dm⁻³, incremento de 88% em relação ao controle.

Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Crusciol et al. (2006), ao estudarem o efeito da aplicação de S em cobertura no feijoeiro. Os autores constataram o aumento da produtividade, com valor máximo na dose de 49 kg ha⁻¹ de S. Furtini Neto et al. (2000), desde os anos 2000 já chamavam atenção para a inclusão do S em programas de adubação, relatando que o mesmo pode limitar não só a produção do feijoeiro como também de outras culturas.

O aumento da produção das plantas adubadas com Se pode ser explicado pela sua capacidade em mantê-las ativas por mais tempo, por meio do seu efeito antioxidante (Ramos et al., 2011). Por outro lado, altas concentrações comprometem o desenvolvimento vegetal, causando oxidação das células e toxidez (Boldrin et al. 2018), nesse caso concentrações superiores a 3,5 mg dm⁻³. Porém, podem existir outros fatores, ainda não estudados, que influenciam a produtividade dessa cultura, visto que não são conhecidos todos os mecanismos que torna o Se tóxico aos vegetais.

Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram os encontrados por Corbo et al. (2018), que, ao realizar estudo visando a biofortificação do feijoeiro com Se, observaram aumento na produtividade de até 40% na dose máxima de 500 g ha⁻¹ de Se. Rezende et al. (2011), também observaram aumento da produção de grãos em soja com a aplicação de Se.

A utilização do Se em outras culturas como *Oryza sativae* *Triticum* spp. também tem mostrado resultados positivos referentes à produção de grãos. Ramos et al. (2011) observaram incremento de 13% no rendimento de grãos, em plantas de arroz, na dose de 0,75 mg dm⁻³ de Se. Zhang et al. (2014) observaram incremento de 4,5 a 13% na produção de grãos de arroz por

planta, quando da aplicação de selenito via foliar. Resultados positivos também foram encontrados na cultura do trigo por Lara et al. (2019), que ao estudar a biofotofixação e alterações metabólicas em função de aplicações foliares de Se, observou incremento de 48 e 31% na produção do trigo, nas doses de 21 e 120 g ha⁻¹ de Se, respectivamente. Nawaz et al. (2014) também obtiveram incremento de 24% na produção de grãos em plantas de trigo adubadas com Se.

Na Tabela 1 é apresentado o estudo das correlações de Pearson entre as características morfológicas e produtivas do feijoeiro. Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam a interdependência das variáveis e sua relação direta com a produtividade da cultura. Apenas as variáveis altura de plantas, SPAD, altura da inserção da primeira vagem e massa de 100 grãos não influenciaram diretamente a produção de grãos.

Observou-se correlação significativa do NFO com a AF e a PGP, $r = 0,74^{**}$ e $0,33^{*}$, respectivamente. Como observado anteriormente, o incremento no NFO promovido pela adubação com S, de forma isolada (Figura 1b), associado ao aumento em AF (Figura 2a), contribui para a melhoria da capacidade de interceptação da energia solar, o que aumenta a assimilação de carbono influenciando significativamente a produção de grãos (Cruz et al., 2007).

Para a AF observa-se correlação significativa com a MSPA e a PGP, $r = 0,30^{*}$ e $0,36^{**}$, respectivamente. Segundo Monteiro et al. (2005), essa característica é utilizada para verificar a eficiência do manejo aplicado à cultura e a sua relação com o crescimento, desenvolvimento e produtividade vegetal. Como observado anteriormente, tanto o Se quanto o S promoveram incrementos a estas características (Figura 2a, 4a e 5b), confirmando a influência dos tratamentos no desenvolvimento e produtividade da cultura.

Tabela 1 – Matriz de correlação de Pearson das características morfológicas e produtivas de feijão-comum submetido a doses de selênio e enxofre.

Atributos ⁽¹⁾	Coeficientes de Correlação												
	AP	NFO	SPAD	NFL	AF	AIPV	NVP	MSPA	MSR	RPAR	CV	NGV	MCG
NFO	0,39**	1,00											
SPAD	-0,13ns	-0,16ns	1,00										
NFL	0,16ns	0,22ns	0,11ns	1,00									
AF	0,11ns	0,74**	-0,21ns	0,15ns	1,00								
AIPV	0,23ns	-0,20ns	-0,16ns	-0,24ns	-0,17ns	1,00							
NVP	0,01ns	0,13ns	0,29*	0,55**	0,13ns	-0,19ns	1,00						
MSPA	-0,07ns	0,18ns	0,10ns	0,55**	0,30*	-0,16ns	0,59**	1,00					
MSR	0,00ns	0,28*	0,24*	0,40**	0,23ns	-0,18ns	0,69**	0,58**	1,00				
RPAR	-0,07ns	0,13ns	-0,01ns	0,47**	0,27*	-0,13ns	0,38**	0,93**	0,25*	1,00			
CV	0,18ns	0,21ns	-0,32**	0,22ns	0,21ns	-0,03ns	0,22ns	0,46**	0,18ns	0,50**	1,00		
NGV	0,29*	0,19ns	-0,25*	0,05ns	0,16ns	0,09ns	-0,20ns	0,14ns	0,04ns	0,14ns	0,25*	1,00	
MCG	-0,10ns	0,22ns	0,00ns	-0,14ns	0,14ns	-0,02ns	0,03ns	0,29*	0,33**	0,23ns	0,12ns	0,31*	1,00
PGP	0,17ns	0,33**	-0,14ns	0,37**	0,36**	-0,07ns	0,44**	0,69**	0,42**	0,68**	0,58**	0,39**	0,24ns

⁽¹⁾ AP: altura da planta, NFO: número de folhas, SPAD: índice de clorofila, NFL: número de flores por planta, AF: área foliar, AIPV: altura de inserção da primeira vagem, NVP: número de vagens por planta, MSPA: matéria seca da parte aérea, MSR: matéria seca das raízes, RPAR: relação parte aérea raiz, CV: comprimento de vagens, NGV: número de grãos por vagem, MCG: massa de cem grãos, PGP: produção de grãos por planta, ** significativo a 1% e * significativo a 5% de probabilidade.

Ao observar o NFL e NVP, verifica-se que essas características possuem alta correlação entre si, $r = 0,55^{**}$, sendo que o incremento em vagens está diretamente relacionado ao aumento de produção, com correlação positiva e significativa, $r = 0,37^{*}$ (Tabela 1). O NVP é um dos componentes mais importantes de produção na cultura do feijoeiro sendo bastante dependente do número de flores emitidas e do vingamento floral (Martins et al., 2017). A depender da quantidade de flores, ocorre abortamento natural no feijoeiro a fim de reduzir o número de drenos e melhorar o enchimento de grãos, sendo assim o NVP irá depender do NFL, que pode

variar em função do ambiente e do manejo adotado (Didonet e Silva, 2004). Nesse estudo o Se elevou o NFL (Figura 2b), porém nem todas formaram vagens, por questões inerentes à cultura.

O CV apresentou correlação positiva com o NGV e PROD, $r = 0,25^*$ e $0,58^{**}$, respectivamente, como apresentado na Tabela 1. Assim quanto maior o CV, maior a produtividade das plantas. Neste estudo, apenas o S promoveu aumento desta característica, como discutido, as doses de Se promoveram aumento na produção de flores e vagens, porém vagens menores (Figura 3b), susceptíveis ao abortamento (Didonet e Silva, 2004).

A MSPA mostrou-se de grande importância para a produção, sendo o incremento dessa característica extremamente desejável, visto sua alta correlação com a PGP, $r = 0,69^{**}$ (Tabela 1), ou seja, seu aumento implica em ganhos de produtividade. Assim como para MSPA a elevação das doses de Se e S, promoveram maior RPAR, visto a alta correlação entre as variáveis, $r = 0,93^{**}$.

Diversos pesquisadores como Furtado et al. (2002); Ribeiro et al. (2001) e Ribeiro et al. (2014), associam o NVP e o NGV como as principais características relacionadas à produção final de grãos na cultura do feijoeiro. Neste estudo, as mesmas também apresentaram destaque com correlação positiva e significativa com a PGP, $r = 0,44^{**}$ e $0,39^{**}$, respectivamente. Porém, constata-se a influência das demais características na produção, com alto nível de importância, sendo que sua alteração impulsionadas pelo uso de Se e S refletem diretamente na PGP.

Observa-se que o Se apresenta efeito benéfico para a cultura do feijão apenas na ausência de S, sendo observado que sua interação com o S é prejudicial à cultura. Além disso, o efeito benéfico promovido pelo Se foi obtido em doses consideradas elevadas para outras culturas, porém a fonte utilizada nesse experimento, selenito de sódio, pode ter contribuído para isso. O Se na forma de selenito, apresenta grande afinidade com os componentes químicos do

solo, podendo torná-lo menos disponível (Hopper e Parker, 1999 e Rovira et al., 2008), sendo considerado menos tóxico aos vegetais quando comparado a outras fontes.

4.0 CONCLUSÕES

A aplicação conjunta de Se e S prejudica as características agrônômicas do feijoeiro cv. BRSMG Madrepérola, não sendo recomendada para a cultura nas condições desse estudo. A aplicação isolada de Se e S melhora essas características e aumentam a produtividade de grãos. Para o Se doses ótimas estão entre 2,5 a 3,5 mg dm⁻³ e para o S doses entre 65 a 90 mg dm⁻³.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Campus Janaúba-MG, pela infraestrutura para realização da pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

5.0 REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. J. B. Clima e solo. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: UFV, 83-97, 1998

ASFANDIYAR et al. Thermoelectric SnS and SnS-SnSe solid solutions prepared by mechanical alloying and spark plasma sintering: anisotropic thermoelectric properties. **Scientific Reports**, 7:43262, 2017.

BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCCI, T.; FAGERIA, N. K.; MENDES, P. N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorado com auxílio de monitor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, 33(2):425-431, 2009. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000200010>>. Access in: September, 14, 2019.

BARBOSA, F. B.; GONZAGA, A. C. O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Embrapa Arroz e Feijão, 247, 2012.

- BARROS, M. A. et al. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semiprostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 48(4):403-410, 2013. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000400008>>. Access in: September, 20, 2019.
- BOLDRIN, P. F. et al. Genotypic variation and biofortification with selenium in Brazilian wheat cultivars. **Journal of environmental quality**, 47(6):1371-1379, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Informe econômico da política agrícola**, 2016. Available in: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/arquivos-deestatisticas/edicao-n-04-2016.pdf/view>>. Access in: January, 20, 2019.
- CARNEIRO, J. E. S. et al. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 12(4):281-284, 2012. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1984-70332012000400008>> Access in: March, 20, 2018.
- CARTES, P.; GIANFREDA, L.; MORA, M.L. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. **Plant and soil**, 276(1-2):359-367, 2005.
- CAVALLI, C. et al. Adubação fosfatada e nutrição foliar na cultura da soja em solo com fertilidade em construção. **Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas**, 25(1):93-104, 2016.
- CÉSAR, M. L. et al. Aplicação de enxofre em cobertura e qualidade fisiológica de sementes de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, 30(5):681-686, 2008. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1807-86212008000500012>> Access in: 20.Nov.2018.
- CLARKSON, D. T. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. **Annual review of plant physiology**, 36(1):77-115, 1985.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Safra: 2018/ 2019. Sétimo levantamento. 6(7): Brasília. 2019. 119 p. Available in: <<https://www.conab.gov.br>>. Access in: July, 30, 2019.
- CORBO, J. Z. F. et al. Toxicity and Translocation of Selenium in Phaseolus vulgaris L. **Journal of Agricultural Science**, 10(5), 2018. Available in: <<https://doi.org/10.5539/jas.v10n5p296>>. Access in: March, 14, 2019.
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia. Instituto Agronômico de Campinas**, 65(3):459-465, 2006. Available in: <<http://hdl.handle.net/11449/27877>>. Access in: December, 04, 2018.
- CRUZ, J. L. et al. Níveis de nitrogênio e a taxa fotossintética do mamoeiro “Golden”. **Ciência Rural**, 37(1):64-71, 2007. Available in: <<http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/15877>>. Access in: January, 08, 2019.
- DIDONET, A. D.; SILVA, S. C. Elementos climáticos e produtividade do feijoeiro. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2004.

DJANAGUIRAMAN, M. et al. Selenium—an antioxidative protectant in soybean during senescence. **Plant and Soil**, 272(1-2):77-86, 2005. Available in: <<https://doi.org/10.1007/s11104-004-4039-1>>. Access in: April, 14, 2019.

EMBRAPA, SOLOS. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**: Rio de Janeiro, 2013.

EULISS, K. W.; CARMICHAEL, J. S. The effects of selenium accumulation in hydroponically grown canola (*Brassica napus*). **Journal of Young Investigators**, 1(1): 1-12, 2004.

FAOSTAT. **Crops**. Available in: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Access in: July, 29, 2019

FENG, R.; WEI, C.; TUD, S. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 87:58–68, 2013. Available in: <<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.09.002>>. Access in: January, 12, 2019.

FERRARI, S. et al. Effects on soil chemical attributes and cotton yield from ammonium sulfate and cover crops. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 37(1):75-83, 2015. Available in: <<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i1.17972>>. Access in: March, 13, 2019.

FORDYCE, F. M. Selenium deficiency and toxicity in the environment. In: SELINUS, O. et al. (Ed.). *Essentials of medical geology*. Dordrecht: Springer, 2013. p. 375–416. Available in: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_16>. Access in: October, 12, 2019.

FURTADO, M. R. et al. Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. **Ciência Rural**, 32(2):217-220, 2002. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000200006>>. Access in: March, 29, 2019.

FURTINI NETO, A.E. et al. Resposta de cultivares de feijoeiro ao enxofre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35(3):567-573, 2000. Available in: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n3/v35n3a12.pdf>>. Access in: November, 12, 2018.

HAWRYLAK-NOWAK, B. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. **Plant Growth Regulation**, 70(2):149-157, 2013. Available in: <<https://doi.org/10.1007/s10725-013-9788-5>>. Access in: September, 08, 2018.

HOPPER, J. L.; PARKER, D. R. Plant availability of selenite and selenate as influenced by the competing ions phosphate and sulfate. **Plant and Soil**, 210(2): 199-207, 1999. Available in: <<https://doi.org/10.1023/A:1004639906245>>. Access in: January, 15, 2019.

JOY, E. M. et al. Soil type influences crop mineral composition in Malawi. *Science of the Total Environment*, 505:587-595, 2015. Available in: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.038>>. Access in: November, 01, 2019.

KEMP, C. D. Methods of estimating the leaf area of grasses from linear measurements. **Annals of Botany**, 24(96): 491-499, 1960. Available in: <<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a083723>>. Access in: March, 20, 2019.

LARA, T. S. et al. Selenium biofortification of wheat grain via foliar application and its effect on plant metabolism. **Journal of Food Composition and Analysis**, 81:10-18, 2019. Available in: <<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.05.002>>. Access in: July, 28, 2019.

LOPES, C. M. et al. Modelos empíricos para estimativa da área foliar da videira na casta Jaen. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, 19(2): 61-75, 2004. Available in: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/ctv/v19n2/v19n2a02.pdf>>. Access in: April, 20, 2019.

LYONS, G. H. et al. Selenium increases seed production in Brassica. **Plant and Soil**, 318(1-2):73-80, 2009. Available in: <<https://doi.org/10.1007/s11104-008-9818-7>>. Access in: May, 15, 2019.

MONTEIRO, J.E.B.A. et al. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. **Bragantia**, 64(1):15-24, 2005. Available in: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/brag/v64n1/23848.pdf>>. Access in: September, 20, 2018.

NAWAZ, F. et al. Selenium (Se) regulates seedling growth in wheat under drought stress. **Advances in Chemistry**, 2014:1-8, 2014. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1155/2014/143567>>. Access in: November, 18, 2018.

NELSON, D.L; COX, M.M. Aminoácidos, Peptídeos e proteínas. In: Princípios de Bioquímica de Lehninger. **Princípios de Bioquímica**, v.6, cap 3, p. 75-114, 2014.

OLIVEIRA, E. DE. et al. Descrição de cultivares locais de feijão-caupi coletados na microrregião Cruzeiro do Sul. **Acta Amazonica**, 45(3):243-254, 2015. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201404553>>. Access in: November, 04, 2018.

OLIVEIRA, IP DE; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**, 169-221, 1996.

PRADO, R. M.; Cruz, F. J. R. ; Ferreira, R. L. C. Selenium Biofortification and the Problem of its Safety. **Superfood and Functional Food: An Overview of Their Processing and Utilization**, 221, 2017. Available in: <<http://dx.doi.org/10.5772/66123>>. Access in: February, 20, 2019.

PEREIRA, C. S. et al. Doses de potássio com a presença de enxofre na cultura da soja. **Global Science and Technology**, 9(1):22-32, 2016.

RAMÍREZ, D. A. H. et al. Evaluación de requerimientos nutricionales en vivero de especies tropicales empleadas en silvicultura urbana. **Revista EIA**, 11(21):41-54, 2014. Available in: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149233913004>>. Access in: August, 04, 2019.

- RAMOS, S. J. et al. Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(4):1347-1355, 2011. Available in: <<http://hdl.handle.net/11449/41846>>. Access in: November, 23, 2018.
- REIS, H. P. G. et al. Agronomic biofortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality. **Journal of cereal science**, 79:508-515, 2018. Available in: <<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.01.004>>. Access in: February, 03, 2019.
- REZENDE, P. M. et al. Enxofre aplicado via foliar na cultura da soja [Glycine max (L.) Merrill]. **Ciência e Agrotecnologia**, 33(5):1255-1259, 2009. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000500008>>. Access in: July, 09, 2019.
- REZENDE, P. M. et al. Doses e formas de aplicação de selênio na produtividade e outras características agronômicas da soja [Glycine max (L.) Merril cv. Luziânia]. **Global science and technology**, 4(3):83-91, 2011.
- RIBEIRO, N. D.; SILVA DOMINGUES, L.; ZEMOLIN, A. E. M. Avaliação dos componentes da produtividade de grãos em feijão de grãos especiais. **Científica**, 42(2):178-186, 2014. Available in: <<http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2014v42n2p178-186>>. Access in: July, 03, 2019.
- RIBEIRO, N. D.; STORCK, L.; MELLO, R. M. Correlações genéticas de caracteres agromorfológicos e suas implicações na seleção de genótipos de feijão preto. **Revista Científica Rural**, 6(1):168-176, 2001.
- ROCHA, R.S. et al. Avaliação de variedades e linhagens de soja em condições de baixa latitude. **Revista Ciência Agronômica**, 43(1):154 -162, 2011.
- ROVIRA, M. et al. Sorption of selenium (IV) and selenium (VI) onto natural iron oxides: goethite and hematite. **Journal of Hazardous Materials**, 150(2):279-284, 2008. Available in: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.04.098>>. Access in: November, 13, 2018.
- SALGADO, Fabricio Henrique Moreira et al. Eficiência de genótipos de feijoeiro em resposta à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 42(4):368-374, 2012. Available in: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=253025284007>>. Access in: March, 09, 2019.
- SMRKOLJ, P. et al. Selenium uptake and species distribution in selenium-enriched bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds obtained by two different cultivations. **European Food Research and Technology**, 225(2):233-237, 2007. Available in: <<http://www.springerlink.com/content/9g441722n7668263/>>. Access in: May, 07, 2018.
- SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynthesis research**, 86(3): 373-389, 2005. Available in: <<https://doi.org/10.1007/s11120-005-5222-9>>. Access in: September, 05, 2018.
- STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, 129:14-20, 2010.

TURAKAINEN, M. et al. Twenty years of selenium fertilization. **Agrifood Research Reports**, 108p, 2005.

VIEIRA, C. et al. Melhoramento do feijão. In:_____ BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivada**, 2. ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 301-391.

WHITE, P. J. Selenium accumulation by plants (Review). **Annals of Botany**, 117:213-235, 2016.

ZHANG, M. et al. Selenium uptake, dynamic changes in selenium content and its influence on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in rice (*Oryza sativa* L.). **Environmental and Experimental Botany**, 107:39- 45, 2014. Available in: <<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.05.005>>. Access in: March, 08, 2019.

CAPÍTULO 2

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-COMUM PROVENIENTES DE PLANTAS ADUBADAS COM SELÊNIO E ENXOFRE (Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Ciência e Agrotecnologia)

RESUMO

MEIRA, Maickon Wilhian Pereira. **Qualidade fisiológica de sementes de feijão-comum provenientes de plantas adubadas com selênio e enxofre.** 2019. Cap. 2. p. 42-62. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG⁵.

Por ser considerado elemento essencial ao ser humano e benéfico aos vegetais o selênio (Se) possui grande potencial de uso na agricultura. Contudo, por apresentar semelhanças químicas com o enxofre (S), pode substituí-lo, causando alterações de compostos celulares. Objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica de sementes de feijão-comum cv. BRSMG Madrepérola provenientes de plantas adubadas com Se e S. Para isso realizou-se experimento em duas etapas, em casa de vegetação e no laboratório de análise de sementes. O experimento em casa de vegetação foi conduzido em esquema fatorial 4x4, correspondendo a quatro doses de Se (0, 0,25, 2,25 e 6,75 mg dm⁻³) na forma de selenito de sódio – Na₂SeO₃ (45% de Se) e quatro doses de S (0, 35, 70 e 140 mg dm⁻³) na forma de enxofre elementar (95% de S) no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. As sementes produzidas foram encaminhadas ao laboratório de sementes, para avaliação da sua qualidade fisiológica. A interação Se e S, prejudicou a germinação e o vigor das sementes. De forma isolada, o Se mostrou-se superior ao S, promovendo o aumento da qualidade fisiológica das sementes na faixa de 2 a 3 mg dm⁻³. Já o S reduziu o comprimento de plântulas na dose de 82,05 mg dm⁻³, havendo efeito positivo apenas na redução dos valores de condutividade elétrica na dose de 82,06 mg dm⁻³.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, vigor, germinação, elemento benéfico.

⁵**Comitê de Orientação:** Prof^a. Dra. Michele Xavier Vieira Megda – UNIMONTES (Orientadora); Prof. Dr. Marcio Mahmoud Megda – UNIMONTES (Coorientador); Prof. Dr. Abner José de Carvalho – UNIMONTES (Conselheiro); Prof^a. Dra. Andréia Márcia Santos de Souza David – UNIMONTES (Conselheira); Prof. Dr. Ignácio Aspiazú – UNIMONTES (Conselheiro).

ABSTRACT

MEIRA, Maickon Wilhian Pereira. **Physiological quality of common bean seeds from fertilized plants with selenium and sulfur**. 2019. Ch. 2 p. 42-62. Dissertation (Master in Crop Production in the Semiarid) - State University of Montes Claros, Janaúba, MG⁶.

Being considered an essential element to humans and beneficial to vegetables, selenium (Se) has great potential for use in agriculture. However, because it has chemical similarities with sulfur (S), it can replace it, causing changes in cellular compounds. The objective of this study was to evaluate the physiological quality of common bean seeds cv. BRSMG Mother-of-pearl from plants fertilized with Se and S. A two-step experiment was carried out in a greenhouse and in the seed analysis laboratory. The greenhouse experiment was carried out in a 4x4 factorial scheme, corresponding to four doses of Se (0, 0.25, 2.25 and 6.75 mg dm⁻³) in the form of sodium selenite - Na₂SeO₃ (45% of Se) and four doses of S (0, 35, 70 and 140 mg dm⁻³) as elemental sulfur (95% S) in a randomized block design with four replications. The seeds produced were sent to the seed laboratory to evaluate their physiological quality. The interaction Se and S impaired germination and seed vigor. Se alone was superior to S, promoting increased physiological seed quality in the range of 2 to 3 mg dm⁻³. S reduced the seedling length at a dose of 82.05 mg dm⁻³, with a positive effect only in reducing the electrical conductivity values at a dose of 82.06 mg dm⁻³.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*, vigor, germination, beneficial element.

⁶**Guidance Committee:** Prof^a. Dra. Michele Xavier Vieira Megda – UNIMONTES (Advisor); Prof. Dr. Marcio Mahmoud Megda – UNIMONTES (Coadvisor); Prof. Dr. Abner José de Carvalho – UNIMONTES (Counselor); Prof^a. Dra. Andréia Márcia Santos de Souza David – UNIMONTES (Counselor); Prof. Dr. Ignácio Aspiazú – UNIMONTES (Counselor).

2.0 INTRODUÇÃO

O feijão-comum apresenta grande importância no contexto socioeconômico nacional (Cabral et al., 2011), devido ao seu cultivo ser realizado por pequenos e grandes produtores, em diversificados sistemas de produção e em todas as regiões brasileiras (Embrapa, 2013). Considerado a principal fonte proteica em grande parte da população mundial, o Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial de feijão (Faostat, 2018), totalizando na última safra 3,13 milhões de toneladas de grãos (Conab, 2019).

Para se obter êxito na produção de feijão, a semente se destaca como importante insumo, devendo apresentar elevada qualidade sanitária, física, genética e fisiológica (França Neto et al., 2010 e Cassol et al. 2012). Por ser cultivado principalmente por pequenos produtores o plantio é realizado basicamente com o uso de sementes oriundas da colheita anterior (Silva e Wander, 2013). Tal prática é regulamentada pela lei federal 10.711/2003, permitindo que pequenos agricultores multipliquem sementes para distribuição, troca ou comercialização entre si, sem a necessidade de inscrição no Registro Nacional de Sementes e Mudas (Brasil, 2003).

Mesmo com a grande importância social do feijão e os expressivos números da produção brasileira, a baixa produtividade ainda é observada em diversos locais, devido principalmente a redução da fertilidade do solo e o baixo nível tecnológico empregado. Estudos referentes à nutrição mineral do feijoeiro vêm sendo desenvolvidos com o intuito de elevar a produtividade da cultura, no entanto, a maioria das pesquisas enfatiza o efeito sobre a produtividade, não correlacionando com a qualidade das sementes (Toledo e Marcos Filho, 1977; Amaral et al., 2016 e Souza et al., 2019). A disponibilidade de nutrientes no solo pode afetar a formação do embrião, órgãos de reserva, alteração da composição química, metabolismo e vigor (Carvalho e Nakagawa, 2000).

Nesse contexto, o fornecimento de elementos benéficos como o selênio (Se) na nutrição mineral de plantas, pode ser considerada prática importante para o aumento da produção e da qualidade dos grãos. Por apresentar ação antioxidante o mesmo é capaz de elevar a produção vegetal (Djanaguiraman et al., 2005 e Ramos et al., 2010) e aumentar a qualidade fisiológica das sementes, principalmente em características relacionadas ao vigor e germinação (Hussain et al., 2016).

Além de ser benéfico aos vegetais o Se é essencial aos humanos e animais (Roman et al., 2014), porém, o seu teor nos alimentos depende da sua disponibilidade no solo, havendo baixo consumo desse elemento por cerca de 15% da população mundial (Guerrero et al., 2014 e White, 2016). Diversos estudos visam elevar o seu teor nos alimentos por meio da biofortificação agrônômica, adicionando-o na adubação de culturas agrícolas (Alfthan et al., 2015; Oliveira et al., 2018 e Bamberg et al., 2019).

Contudo, o Se pode apresentar interação com outros nutrientes presentes no solo, especialmente o enxofre (S). O S é de extrema importância para a cultura do feijoeiro, não apenas por estar relacionado ao aumento de produção, mas também à qualidade das sementes. Entre os aminoácidos que possuem S em sua composição, a metionina está diretamente ligada à qualidade fisiológica das sementes, por ser um aminoácido precursor de etileno, associado ao processo germinativo (Camargo e Carvalho, 2014).

Nas plantas, o Se apresenta propriedades químicas semelhantes às do S, promovendo a substituição do mesmo em partes e sua incorporação aos aminoácidos formados, como a seleno-metionina (Sors et al., 2005). Esse aminoácido também é precursor da síntese do etileno, sendo mais eficaz que o precursor natural, metionina (Barros e Freitas, 2001). Contudo essa produção mais eficiente de etileno pode ou não ser benéfica, sendo desejável quando há necessidade de melhorias na taxa de germinação (Amaro et al., 2009), devido à sua capacidade de superação

de dormência e quando se deseja acelerar e uniformizar o processo de maturação de frutos (Dias et al., 2014 e Jomori et al., 2014), podendo acelerar a deterioração de sementes em condições de armazenamento (Taiz e Zeiger, 2013).

Com base no exposto, verifica-se a importância e o potencial do uso do Se na agricultura. Devendo a sua interação com o S ser observada, em função dos riscos relativos à toxicidade pela substituição de um elemento essencial. O estudo teve como objetivo avaliar a qualidade fisiológica de sementes provenientes do feijão-comum cv. BRSMG Madrepérola após adubação com Se e S.

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido na Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES, Campus de Janaúba-MG, em duas etapas. A primeira, realizada em casa de vegetação, em condições controladas, com temperaturas médias variando de 18 a 25°C. A segunda etapa foi realizada no Laboratório de Análise de Sementes da UNIMONTES.

Utilizou-se a cultivar de feijão-comum BRSMG Madrepérola, que se destaca principalmente pela qualidade dos grãos, elevado potencial produtivo e resistência ao vírus do mosaico comum (*Bean common mosaic virus*) e a várias raças de antracnose (*Colletotrichum* sp) (Carneiro et al., 2012).

O experimento foi conduzido em vasos com volume de 15 dm⁻³, contendo Cambissolo Háplico Tb Eutrófico (Embrapa, 2013), de textura franco-argilosa. O solo foi coletado na camada superficial (0-20 cm) em área de pastagem natural e após secagem ao ar e peneiramento obteve-se a terra fina seca ao ar. As características físico-químicas, incluindo teor de Se, estão descritas a seguir: pH (CaCl₂): 5,0; MO: 3,7 dag kg⁻¹; P: 2,8 mg dm⁻³; K: 184 mg dm⁻³; Ca: 1,8 cmol_c dm⁻³, Mg: 0,7 cmol_c dm⁻³; H+Al: 2,6 cmol_c dm⁻³; CTC₇: 5,6 cmol_c dm⁻³; V: 53%; S: 0,8 mg dm⁻³; Se < 0,5 mg dm⁻³, B: 0,4 mg dm⁻³, Zn: 1,2 mg dm⁻³, Mn: 85,9 mg dm⁻³, Cu: 0,4 mg

dm⁻³, Silte: 29,8%, Argila: 28% e Areia: 42,2%. Para a correção da acidez utilizou-se calcário dolomítico (53% de cálcio, 18% de magnésio e PRNT 120%), visando atingir 70% da saturação por bases. Em seguida o solo foi incubado por um período de 30 dias, sendo mantida a umidade a 60% da capacidade de campo.

O experimento foi instalado em esquema fatorial 4x4, correspondendo a quatro doses de Se (0, 0,25, 2,25 e 6,75 mg dm⁻³) na forma de selenito de sódio – Na₂SeO₃ (45% de Se) e quatro doses de S (0, 35, 70 e 140 mg dm⁻³) na forma de enxofre elementar (95% de S). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições.

Antes do plantio as sementes foram tratadas com fungicidas Carboxin+Thiram (Vitavax Thiram 200 SC®) na dosagem de 5 mL kg⁻¹ de sementes. No momento do plantio realizou-se fertilização básica para todos os tratamentos com 50 mg de N na forma de Ureia, 64 mg de P₂O₅ na forma de fosfato monoamônico (MAP), 0,6 mg de B na forma de H₃BO₃, 1,6 mg de Cu na forma de CuCl₂, 25,8 mg de Fe na forma de FeCl₃.6H₂O, 0,15 mg de Mo na forma de (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O e 1,3 mg de Zn na forma de ZnO por dm³ de solo. Os tratamentos à base de S foram aplicados no plantio e o Se via solução, dez dias após a emergência das plantas. Na adubação de cobertura, realizada no estágio V4, ou seja, 22 dias após a emergência (DAE), foram aplicados 50 mg dm⁻³ de N na forma de Ureia em todos os tratamentos.

A semeadura foi realizada diretamente nos vasos, com 10 sementes por vaso e aos 5 DAE realizou-se o desbaste, a fim de manter três plântulas por vaso. A irrigação ocorreu de modo a manter a umidade do solo próxima a 60% da capacidade de campo, por meio de pesagem diária dos vasos. Durante o período do experimento realizou-se o manejo fitossanitário de acordo com a necessidade da cultura, além da observação de possíveis alterações morfológicas.

As sementes foram colhidas quando as vagens se apresentavam secas, sem deiscência e teor médio de água de 18%, aos 83 DAE. As vagens colhidas foram encaminhadas ao laboratório onde se fez a debulha manual, logo em seguida, as sementes foram acondicionadas em sacos de papel para avaliações posteriores. Das sementes de feijão produzidas em cada tratamento, coletou-se amostras para as seguintes avaliações:

Germinação (GER) – utilizou-se papel germitest[®], na forma de rolo, umedecido com água destilada em volume equivalente a duas vezes e meia o peso do papel seco e mantido em germinador sob temperatura constante de 25°C. Foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes. As avaliações consistiram na contagem de plântulas normais (estruturas essenciais completas, desenvolvidas, proporcionais e sadias), obtidas aos nove dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem (Brasil, 2009);

Primeira Contagem da Germinação (CONT1) – realizado em conjunto com o teste de germinação, considerando-se a porcentagem de plântulas normais existentes no quinto dia após a semeadura (Brasil, 2009);

Índice de Velocidade de Germinação (IVG) – determinado segundo Maguire (1962), contabilizando-se diariamente o número de sementes germinadas (protrusão da raiz primária com 2mm), durante os nove dias de avaliação;

Emergência de Plântulas em Areia (E%) – conduzido sob condições ambientais de laboratório (± 26 °C), utilizando quatro repetições de 25 sementes semeadas a uma profundidade de 0,5 cm, em caixas plásticas contendo areia lavada e esterilizada. A umidade do substrato foi mantida com o auxílio de borrifadores, em duas irrigações leves diárias (Brasil, 2009). As avaliações foram realizadas no nono dia após a semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, considerando-se como critério de avaliação

as plântulas emergidas que apresentaram a alça cotiledonar exposta acima da superfície do substrato;

Comprimento de Plântulas (CP) – ao término do teste de emergência em areia, determinou o comprimento de 10 plântulas de cada repetição, as com o auxílio de uma régua milimetrada, e os resultados e os resultados foram expressos em cm;

Massa Seca de Plântulas (MS) – as plântulas normais de cada repetição foram acondicionadas em sacos de papel e mantidas em estufa regulada a 80°C, por 24h. Após esse período, as plântulas foram retiradas e colocadas para esfriar, com posterior determinação da massa da matéria seca total das plântulas normais de cada repetição. A massa obtida foi dividida pelo número de plântulas normais componentes, resultando na massa média de matéria seca por plântula, em gramas (Nakagawa, 1999);

Envelhecimento Acelerado (EA) – foi utilizada uma camada única de 25 sementes de cada tratamento, distribuída uniformemente sobre uma tela acoplada ao gerbox, com 40 mL de água destilada, em quatro repetições. Os gerbox foram tampados e mantidos em câmara BOD, a 41°C por 72h (Panobianco e Marcos Filho, 2001). Em seguida, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito anteriormente, com contagem aos cinco dias;

Condutividade Elétrica (CE) – conduzido com quatro repetições de 25 sementes por tratamento. As sementes de cada repetição foram pesadas e acondicionadas em copos plásticos, com capacidade para 200 mL, contendo 75 mL de água destilada. Os copos foram mantidos em germinador regulado a 25°C por 24h. Foram realizadas leituras da solução utilizando condutivímetro, e os resultados expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de sementes, dividindo-se a leitura pela massa das sementes (Vieira, 1994).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, nos casos de significância pelo teste F ($p < 0,05$), para a interação Se x S efetuou-se o estudo de regressão polinomial, com análise em superfície de resposta. Para isso, utilizou-se o software de análises estatísticas R.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

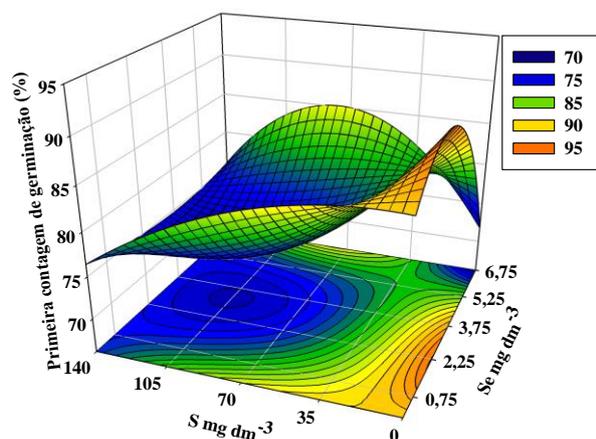
A análise de variância revelou que, com exceção do envelhecimento acelerado, as demais variáveis: germinação, primeira contagem da germinação, índice de velocidade de germinação, emergência de plântulas, comprimento de plântulas, massa seca de plântulas e condutividade elétrica foram influenciadas significativamente pela interação entre os fatores Se x S.

Após o envelhecimento, as sementes apresentaram germinação média de 45%, independentemente do tratamento aplicado. O princípio do teste de envelhecimento acelerado baseia-se no aumento da velocidade de deterioração das sementes, por meio da sua exposição a fatores extremos, sendo eles temperatura e umidade relativa do ar, considerados fatores ambientais de grande influência no processo de deterioração de sementes (Marcos Filho et al., 2000).

A interação Se x S foi significativa para o vigor de sementes avaliado pelo teste de primeira contagem, com ajuste ao modelo quadrático de regressão (Figura 1a). Houve redução nos valores, na combinação 3,03 e 101,8 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, onde observou-se porcentagem de germinação na primeira contagem de 72,8%, o que representa redução de 17,5%, quando comparado ao controle, 87%. Por outro lado, os tratamentos à base de Se, considerando a dose zero de S, ajustaram-se ao modelo quadrático, promovendo aumento na germinação até o valor máximo de 91,1%, obtido na dose de 2,09 mg dm⁻³ de Se, incrementando em 4,7% a porcentagem de germinação, com redução nos valores em doses superiores, sendo

o menor valor, 71,8%, obtido na dose máxima de Se. A aplicação de S na ausência de Se não promoveu alteração significativa na característica avaliada, mantendo-se com valor próximo ao tratamento controle.

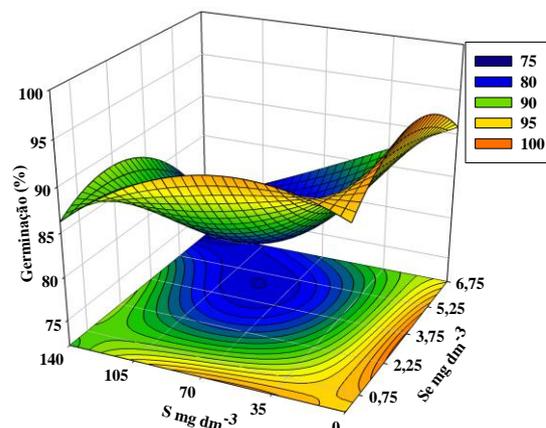
a)



$$\text{CONT1} = 87,0038 + 0,0441\text{Se}^2\text{S} - 0,00026\text{Se}^2\text{S}^2$$

$$(R^2 = 0,73)$$

b)



$$\text{GER} = 87,0038 + 0,0441\text{Se}^2\text{S} - 0,00026\text{Se}^2\text{S}^2$$

$$(R^2 = 0,73)$$

1 **Figura 1-** Primeira contagem de germinação (a) e porcentagem de germinação (b) de sementes de feijão-comum provenientes de plantas adubadas com selênio e enxofre.

A primeira contagem de germinação é um teste de vigor simples, realizado simultaneamente ao teste de germinação, e baseia-se no pressuposto de que as sementes mais vigorosas germinam mais rápido (Abud et al., 2013). Os resultados obtidos indicam aumento de vigor para as sementes provenientes de plantas adubadas com Se, por apresentarem maior porcentagem de plântulas normais, conseqüentemente maior qualidade fisiológica. O vigor revela a capacidade que a semente apresenta em emitir plântulas normais em condições adversas do ambiente, referentes a manejo, clima, disponibilidade hídrica etc. (Brasil, 2009).

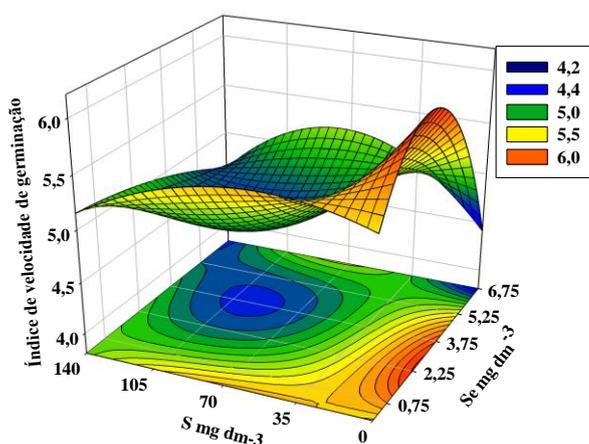
No que se refere à germinação (Figura 1b), observou-se padrão similar ao da primeira contagem (Figura 1a). A interação Se x S, apresentou efeito quadrático, sendo que a combinação das doses máximas de ambos elementos, 6,75 e 140 mg dm⁻³ de Se e S,

respectivamente, promoveram a menor porcentagem de germinação, de 76,89%, correspondendo a uma redução de 11,6%, quando comparado ao controle. Da mesma forma, a aplicação isolada de Se promoveu efeito quadrático nesta característica, com aumento na porcentagem de germinação de até 96,26% na dose de 3,26 mg dm⁻³ de Se, incremento de 10,6% comparado ao controle. Para essa variável a aplicação de S não promoveu alteração significativa, quando na ausência de Se, a germinação manteve-se próxima ao valor do tratamento controle, mesmo com o aumento das doses de S.

Além disso, na presença de Se, observou-se maior porcentagem de germinação final. A depender do modo de aplicação e do tempo de exposição o Se é capaz de influenciar em diferentes processos fisiológicos, desde a germinação à reprodução, de diferentes espécies vegetais (Longchamp et al., 2015; Hussain et al., 2016 e Nawaz et al., 2017). Nesse estudo a exposição das plantas a esse elemento pode ter promovido a formação de seleno-metionina em substituição à metionina. Esse novo aminoácido desencadeia a biossíntese do etileno de forma mais eficiente, comparado ao seu precursor natural, a metionina, o etileno produzido em maior quantidade estimula a germinação das sementes (Barros e Freitas, 2001).

Nessa pesquisa a aplicação de S não alterou a qualidade fisiológica das sementes de feijão, tanto na primeira quanto na última contagem de germinação, mesmo nos tratamentos que não receberam esse elemento constataram-se valores considerados adequados, acima de 80% (Coelho et al., 2010). Esses resultados corroboram os encontrados por César et al. (2008), que ao estudarem a qualidade fisiológica de sementes de feijão comum cv. Pérola, proveniente de plantas adubadas com doses de S em cobertura, não observaram mudança na porcentagem de germinação, sendo a mesma mantida em 87% independentemente da dose aplicada. Corrêa et al. (2017) também verificaram que o S não influenciou a qualidade de sementes de brócolis, relativo aos testes de primeira e última contagem de germinação.

A interação Se x S foi significativa para o índice de velocidade de germinação (IVG), com ajuste ao modelo de regressão quadrático (Figura 2). A combinação das doses 6,75 e 4,42 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, promoveram redução do IVG em comparação ao controle em 17,4%. Na ausência de S, o Se promoveu efeito significativo, com ajuste ao modelo de regressão quadrático, aumentando a velocidade de germinação até o valor máximo de 6,12%, na dose de 2,56 mg dm⁻³, o que representa incremento de 11,9%. A dose máxima de Se, reduziu o IVG em 19,2% quando comparado ao controle. O S, na ausência de Se, não promoveu efeito significativo, mantendo o IVG em valores próximos aos do tratamento controle, mesmo com o aumento das doses.



$$IVG = 5,4721 - 0,0976Se^2 - 0,0233SeS + 0,0037Se^2S + 0,00013SeS^2 - 0,000022Se^2S^2$$

$$(R^2 = 0,77)$$

Figura 2- Índice de velocidade de germinação de sementes de feijão-comum provenientes de plantas adubadas com selênio e enxofre.

Com esses resultados percebe-se que o Se além de aumentar a porcentagem de germinação das sementes, conforme apresentado na Figura 1b, também aumentou a sua velocidade. Esse é um fator de grande importância, pois baseia-se no princípio que sementes mais vigorosas germinam mais rápido. Assim como para germinação final essa característica está diretamente ligada à formação de seleno-metionina nas plantas adubadas com Se, como explicado anteriormente (Barros e Freitas, 2001).

Diferente do observado nesse estudo, Pedrosa (2017) observou aumento na velocidade de germinação em sementes de feijão-comum adubadas com fertilizante contendo S. Segundo o autor o S presente aumentou a qualidade das sementes produzidas, melhorando o seu vigor.

Para a matéria seca de plântula (Figura 3a), observou-se efeito significativo dos tratamentos aplicados apenas para as doses de Se, com ajuste ao modelo de regressão quadrático, sendo o ponto de máxima de 0,1701g/plântula, na dose de 4,65 mg dm⁻³ de Se, com incrementos de 62,3% quando comparado ao controle, 0,1048g/plântula. A adubação com S não influenciou na matéria seca de plântula, não havendo também interação entre os elementos.

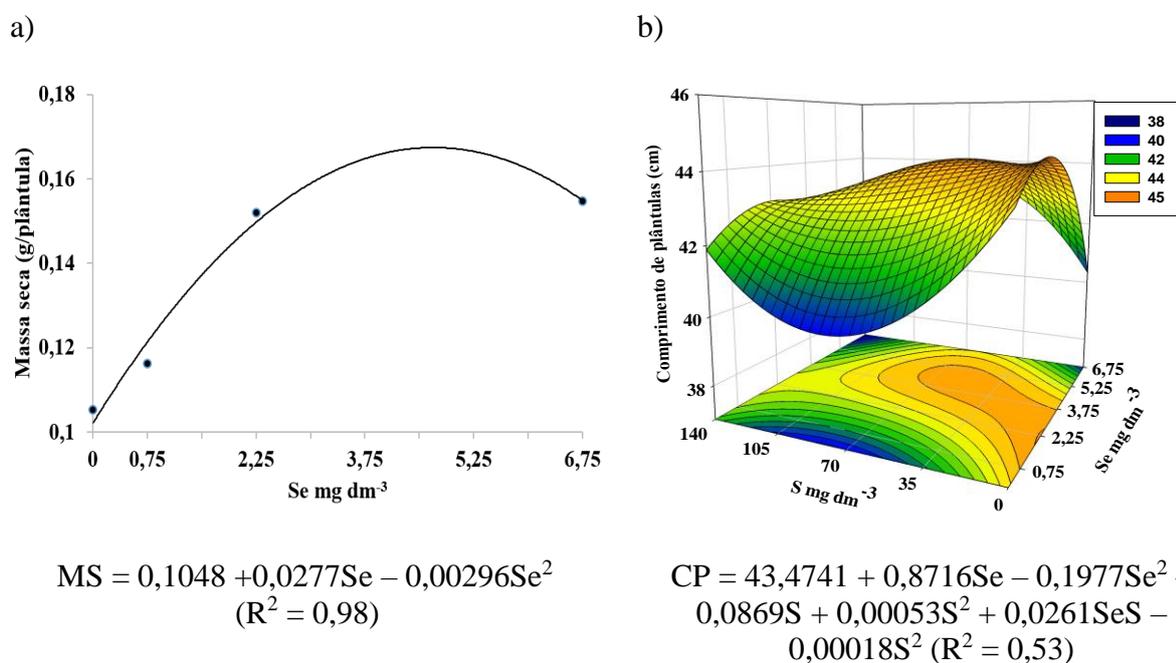


Figura 3- Massa seca por plântula (a) e comprimento de plântulas (b) de feijão-comum provenientes de plantas adubadas com selênio e enxofre.

A interação Se x S foi significativa para o comprimento total de plântulas (Figura 3b), com ajuste ao modelo de regressão linear decrescente para ambos elementos, a combinação das máximas doses dos elementos 6,75 e 140 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, promoveram o menor comprimento de plântulas, 39 cm, redução de 10,1% comparado ao controle. De forma isolada, o Se e S promoveram efeito significativo, o Se ajustou-se ao modelo de regressão quadrático com ponto de máxima de 44,43 cm, obtido na dose de 2,09 mg dm⁻³, havendo

incremento de 2,4% na característica em estudo. O S, também ajustou-se ao modelo de regressão quadrático, porém com ponto de mínima de 39,97 cm, obtido na dose de 82 mg dm⁻³ de S, reduzindo em 7,9% o comprimento das plântulas comparado ao tratamento controle.

A massa seca de plântulas é uma característica de grande importância na avaliação do vigor de sementes, pois se origina do transporte do tecido de reserva para o eixo embrionário, assim quanto maior o seu valor, maior a capacidade da plântula suportar oscilações ambientais (Nakagawa, 1999). Mesmo não sendo considerado nutriente essencial para plantas superiores, em algumas espécies vegetais a formação de seleno-aminoácidos, seleno-proteínas e outros compostos selênicos em pequenas quantidades produzem efeito benéfico (Welch et al., 1991 e Terry et al., 2000).

Contudo a faixa de concentração relativa aos efeitos benéficos e tóxicos é bastante estreita, podendo o Se em quantidades elevadas prejudicar o crescimento de plântulas, a depender da tolerância da cultura e da fonte utilizada (Prado et al., 2017), como observado nesse estudo, concentrações superiores a 2,09 mg dm⁻³ mostraram-se tóxicas a essa característica. Sua toxicidade está relacionada principalmente à sua capacidade de substituir o S em moléculas, em função da semelhança química entre os elementos, de forma que o Se interfere no metabolismo do S, quando presente em quantidades elevadas (Zayed e Terry 1992).

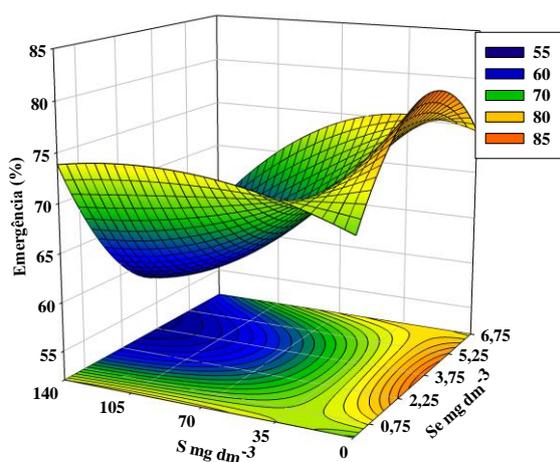
O teor de matéria seca elevado e o crescimento inicial rápido são características provenientes de sementes de elevada qualidade (Marcos Filho, 2015 e Kolchinski et al., 2006), assim, o Se elevou a qualidade das sementes de feijão considerando essas características.

A redução do comprimento de plântulas na presença do S corrobora os resultados encontrados por César (2008), que ao avaliar a qualidade fisiológica de sementes de plantas feijão-comum adubadas com S em cobertura, observou redução no comprimento de plântulas até um ponto de mínima com posterior aumento. Segundo esse mesmo autor isso ocorre em função da incapacidade das plantas evitarem a absorção excessiva de S, durante o seu ciclo de

vida, provocando toxidez em determinadas doses. Assim, durante o desenvolvimento da planta grande parte do S absorvido é incorporado às sementes, podendo causar diluição de outros elementos como o N (Crusciol et al., 2006), afetando a qualidade das sementes.

Para a emergência de plântulas observou-se interação significativa das doses de Se e S, com ajuste ao modelo de regressão quadrático para o Se e linear para o S (Figura 4a). A combinação das doses 4,19 e 140 mg dm⁻³ de Se e S, respectivamente, promoveram a menor porcentagem de emergência, 57,63%, redução de 18,5% comparado ao controle. Na ausência de S, o aumento das doses de Se promoveu efeito quadrático à emergência de plântulas, aumentando a porcentagem de emergência até o valor máximo de 80,61%, na dose de 3,72 mg dm⁻³ de Se, incremento de 14%. Por outro lado, na ausência de Se, o S não promoveu efeito significativo para essa característica.

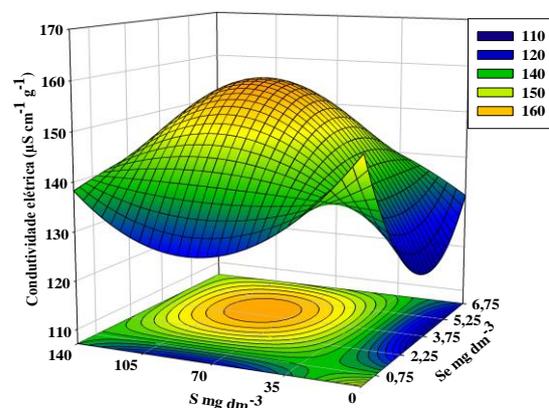
a)



$$\%E = 70,6836 - 0,2221SeS + 0,032Se^2S$$

$$(R^2 = 0,46)$$

b)



$$CE = 149,9631 - 14,5370Se + 1,7485Se^2 -$$

$$0,5442S + 0,0032S^2 + 0,6959SeS -$$

$$0,0850Se^2S - 0,0041SeS^2 + 0,00051Se^2S^2$$

$$(R^2 = 0,54)$$

Figura 4- Porcentagem de emergência (a) e condutividade elétrica (b) de sementes de feijão-comum provenientes de plantas adubadas com selênio e enxofre.

A emergência de plântulas é um fator de importância para o estabelecimento inicial de uma lavoura, aumentando a sua capacidade adaptativa e competitiva. Tekrony e Egli (1991)

ressaltaram que sementes de alto vigor atuam aparentemente em fases anteriores ao crescimento da plântula e estão frequentemente associados com o aumento da taxa de emergência e no estabelecimento do estande. Quando sementes de baixo vigor produzem populações de plantas que são menores que a necessária para um rendimento máximo, as reduções podem estar indiretamente relacionadas ao vigor das sementes.

A interação Se x S foi significativa para a condutividade elétrica das sementes, com ajuste ao modelo de regressão quadrático (Figura 4b). A combinação das doses 4,18 e 86,89 de Se e S, respectivamente, promoveram o maior valor de condutividade, $157,9 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, aumentando em 5,35% em comparação ao controle. Tanto o Se como o S, aplicados de forma isolada, promoveram efeitos significativos com ajuste ao modelo de regressão quadrático, com ponto de mínima para o Se na dose de $4,18 \text{ mg dm}^{-3}$, correspondendo a condutividade elétrica de $119,75 \mu\text{s cm}^{-1} \text{g}^{-1}$, redução de 20,1% em relação ao controle ($149,96 \mu\text{s cm}^{-1} \text{g}^{-1}$). O S também promoveu redução significativa, porém com valor menos expressivo, $127,44 \mu\text{s cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ na dose de $82,06 \text{ mg dm}^{-3}$ de S, redução de 15% da condutividade elétrica.

No teste de condutividade elétrica, o vigor está relacionado ao grau de integridade do sistema de membranas celulares. Dessa forma, no momento em que as sementes são hidratadas em água, ocorre lixiviação dos componentes celulares das sementes no meio líquido, de forma proporcional ao nível de desorganização das células (Woodstock, 1973). Assim, quanto menor o valor da condutividade elétrica estima-se qualidade superior das sementes.

Por meio dos resultados podemos inferir que a interação dos elementos reduziu o vigor das sementes de feijão-comum, pois elevou-se os valores de condutividade elétrica, revelando assim maior grau de desorganização das membranas celulares. Provavelmente isso ocorreu devido ao efeito tóxico da interação dos elementos, em meio à desnaturação de proteínas. De acordo com Severi (2001) em situações que o meio se encontra com elevados valores de S, o Se na forma de selenito de sódio é mais tóxico que outras formas, como o selenato. As

diferenças de tamanho e propriedades de ionização das moléculas de Se e S podem levar a alterações na estrutura das proteínas, causando redução da sua atividade (Lauchli, 1993). Segundo Marcos Filho (2015), os exsudados liberados durante a embebição da semente podem atrair microrganismos, pois encontram-se carregados de açúcares, proteínas, e íons orgânicos, podendo promover a deterioração da semente e prejudicar a emergência da plântula.

A redução na condutividade elétrica das sementes promovida pelo Se e S, quando aplicados de forma isolada, revela maior vigor, relativo ao maior grau de organização celular. Esse estudo revela superioridade do Se ao S quanto à qualidade fisiológica das sementes. Mesmo sendo capaz de reduzir a condutividade elétrica das sementes, o S não promoveu alterações de outras características como percebemos nas Figuras 1a e b, 2, 3a e 4a, além de reduzir o comprimento total de plantas (Figura 4b), importante fator para o estabelecimento das plantas em campo. O Se por sua vez, promoveu incremento em todas as características estudadas.

Bardivieso (2018) também observou redução linear da condutividade elétrica em sementes de abobrinha de moita em função do uso do S, segundo o autor o S melhorou a integridade das membranas celulares, conferindo maior vigor, que se deu principalmente pela formação de proteínas favorecidas pelo S. Segundo Marcos Filho (2015), depois da água as proteínas são as substâncias mais importantes no processo de formação da semente.

4.0 CONCLUSÕES

A interação dos elementos Se e S mostrou-se prejudicial às características fisiológicas das sementes de feijão-comum cv. BRSMG Madrepérola, com redução no vigor e germinação.

A aplicação isolada de Se aumenta a qualidade fisiológica das sementes do feijão comum cv. BRSMG Madrepérola na faixa de 2 a 3 mg dm⁻³ de Se, com efeito superior à aplicação de S.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), Campus Janaúba-MG, pela infraestrutura para realização da pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

5.0 REFERÊNCIAS

ALFTHAN, G. et al. Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: From deficiency to optimal selenium status of the population. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, 31(1):142- 147, 2015. Available in: <<https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.04.009>> Access in: March, 20, 2018.

AMARAL, C. B. et al. Produtividade e qualidade do feijoeiro cultivado sobre palhadas de gramíneas e adubado com nitrogênio em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51(9):1602-1609, 2016. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-04x2016000900060>> Access in: Mai, 17, 2018.

AMARO, A. C. E. et al. Combinações entre GA4+7 + N-(fenilmetil)-aminopurina e ethephon na germinação de sementes de *Passiflora cincinnata* Mast. **Revista Brasileira de Sementes**, 31(1):195-202, 2009. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222009000100022>> Access in: July,19, 2018.

BAMBERG, S. M. et al. Effects of selenium (Se) application and arbuscular mycorrhizal (AMF) inoculation on soybean ('Glycine max') and forage grass ('Urochloa decumbens') development in oxisol. **Australian Journal of Crop Science**, 13(3):380, 2019.

BARDIVIESSO, E. M. **Enxofre e composto orgânico na produção e qualidade de sementes e acúmulo de macronutrientes em frutos maduros e sementes de abobrinha-de-moita**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de São Paulo. Available in: <<http://hdl.handle.net/11449/153760>> Access in: March,19, 2019.

BARROS R. S; FREITAS A.W.P. Selenomethionine as a dormancy-breaking agent in seeds of *Stylosanthes humilis*. **Acta Physiol Plant**, 23:279-284, 2001.

BRASIL. Lei nº10.711, de 5 de agosto de 2003. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudanças e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, 2003.

BRASIL. Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. 2009.

CABRAL, P. D. S. et al. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agronômica**, 42(1):132-138, 2011.

Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000100017>> Access in: June, 17, 2018.

CAMARGO, P.R; CARVALHO, M.E.A. Aminoácidos e suas aplicações na agricultura. **Piracicaba ESALQ**, 57:58,2014. Available in: <https://www.researchgate.net/publication/269700170_Aminoacidos_e_suas_aplicacoes_na_agricultura > Access in: April, 14, 2018.

CARNEIRO, J. E. S. et al. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 12(4):281-284, 2012. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1984-70332012000400008>> Access in: March, 20, 2018.

CARVALHO, N.M. e NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 588, 2000.

CASSOL, F. D. R. et al. Qualidade fisiológica de lotes de sementes de feijão em função do armazenamento. **Cultivando o Saber** 5(2):85-97, 2012. Available in: <http://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/503fb35a6e010.pdf> Access in: August, 28, 2018.

CÉSAR, M. L. et al. Aplicação de enxofre em cobertura e qualidade fisiológica de sementes de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, 30(5):681-686, 2008. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1807-86212008000500012>> Access in: 20.Nov.2018.

COELHO, C. M. M. et al. Potencial fisiológico em sementes de cultivares de feijão crioulo (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, 32(3):97-105, 2010. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222010000300011>> Access in: November, 20, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra: 2018/ 2019. Sétimo levantamento. 6(7):119, 2019.

CORRÊA, C. V. et al. Sulphur (S) topdressing and organic compost in the production, quality and nutrients accumulation in broccoli seeds at planting. **Australian Journal of Crop Science**, 11(5):542-547, 2017.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, 65(3):459-465, 2006. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052006000300012>> Access in: December, 15, 2018.

SILVA, O. F; WANDER, A. E. O feijão-comum no Brasil: passado, presente e futuro. **Embrapa Arroz e Feijão-Documentos (INFOTECA-E)**, 2013.

DIAS, R. E. B. A. et al. Eficiência da colheita mecanizada do café com o uso do inibidor de biossíntese de etileno. **Coffee Science**, 9(4):527-536, 2014. Available in: <<http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8078>> Access in: December, 16, 2018.

DJANAGUIRAMAN, M. et al. (2005). Selenium—an antioxidative protectant in soybean during senescence. **Plant and Soil**, 272(1-2):77-86, 2005. Available in: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-004-4039-1>> Access in: December, 15, 2018.

FAOSTAT. **Crops**. Available in: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Access in: July, 29, 2019

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYŻANOWSKI, F. C. e HENNING, A. A. A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. **Informativo Abrates**, 20(1-2):37-38, 2010.

GUERRERO, B. et al. Dual effects of different selenium species on wheat. **Plant Physiology and Biochemistry**, 83:300–307, 2014. Available in: <<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.08.009>> Access in: November, 20, 2018.

HUSSAIN, S. et al. Seed priming alters the production and detoxification of reactive oxygen intermediates in rice seedlings grown under sub-optimal temperature and nutrient supply. **Frontiers in plant science**, 7:439, 2016.

JOMORI, M. L. L. et al. Desverdecimento e armazenamento refrigerado de tangor ‘Murcott’ em função de concentração e tempo de exposição ao etileno. **Semina: Ciências Agrárias**, 35(2):825-834, 2014. Available in: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744140019>> Access in: September, 20, 2018.

KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T. Crescimento inicial de soja em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, 12(2):163-166, 2006.

LAUCHLI, A. Selenium in plants: uptake, functions, and environmental toxicity. **Bot Acta** 106: 455-468, 1993. Available in: <<https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1993.tb00774.x>> Access in: September, 29, 2018.

LONGCHAMP, M. et al. Variations in the accumulation, localization and rate of metabolization of selenium in mature *Zea mays* plants supplied with selenite or selenate. **Food Chem**, 182:128-135, 2015.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor 1. **Crop Science**, 2(2):176-177, 1962. Available in: <<http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>> Access in: May, 15, 2018.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2 ed. Londrina: **ABRATES**, 660, 2015.

NAKAGAWA, J. et al. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: **ABRATES**, 1:20-31, 1999.

NAWAZ, F. et al. Selenium supply methods and time of application influence spring wheat (*Triticum aestivum* L.) yield under water deficit conditions. **The Journal of Agricultural Science**, 155(4):643-656, 2017. Available in: <<https://doi.org/10.1017/S0021859616000836>> Access in: October, 30, 2018.

OLIVEIRA, V. C. et al. Biofortificação agronômica da cenoura com selênio. **Ciência e Agrotecnologia**, 42(2):138-147, 2018. Available in: <<http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542018422031217>> Access in: October, 15, 2018.

- PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de tomate. **Scientia Agricola**, 58(3):525-531, 2001.
- PEDROSA, M.V.B. **Qualidade fisiológica de sementes de feijão (Phaseolus vulgaris L.) em função da maturação e adubação com enxofre, nitrogênio e zinco**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, 2017. Available in: <<http://repositorio.ufes.br/handle/10/7598>> Access in: October, 20, 2018.
- PRADO, R. M.; CRUZ, F. J. R.; FERREIRA, R. L. C. Selenium Biofortification and the Problem of its Safety. **Superfood and functional Food: an overview of their processing and utilization**, 221, 2017. Available in: <<http://dx.doi.org/10.5772/66123>>. Access in: February, 21, 2019.
- RAMOS, S. J. et al. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. **Plant Soil and Environment**, 56:584-588, 2010.
- ROMAN M.; JITARU P.; BARBANTE C. Selenium biochemistry and its role for human health. **Metallomics**, 6:25–54, 2014.
- SEVERI A. Toxicity of selenium to Lemna minor in relation to sulfate concentration. **Physiol Plant**, 113:523-532, 2001.
- EMBRAPA, SOLOS. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**: Rio de Janeiro, 2013.
- SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynthesis Research**, 86(3), 373-389, 2005. Available in: <<https://doi.org/10.1007/s11120-005-5222-9>> Access in: September, 12, 2018.
- SOUZA, S. S. et al. Cultivares de feijoeiro irrigado em função de doses de nitrogênio em cobertura. **Nucleus**, 16(1):85-96, 2019.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, p.954, 2013.
- TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. Relationship of seed vigor to crop yield: A review. **Crop Science**, 31:816-822, 1991.
- TERRY N.; ZAYED A.M.; SOUZA M.P.; TARUN A.S. Selenium in higher plants. **Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol**, 51:401-432, 2000.
- VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica. In.: VIEIRA, RD; CARVALHO, NM. **Testes de vigor em sementes**, 103-132, 1994.
- TOLEDO, F.R.; MARCOS FILHO, J. **Manual das Sementes**: tecnologia da produção. São Paulo: Agronômica Ceres, 224p, 1977.
- WELCH R. M. et al. Geographic distribution of trace element problems. In: Mortvedt JJ, Cox FR, Schuman LM, Welch RM (eds) Micronutrients in agriculture. **Soil Science Society of America**, 31-57, 1991.

WHITE, P. J. Selenium accumulation by plants. **Annals of Botany**, 117(2):217–235, 2016. Available in: <<https://doi.org/10.1093/aob/mcv180>> Access in: September, 29, 2018.

WOODSTOCK, L. M. Physiological and biochemical of seed vigor. **Seed Science and Technology**, 1(1):127-157, 1973.

CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação conjunta de Se e S prejudica as características agrônômicas do feijoeiro, não sendo recomendada para a cultura nas condições desse estudo. A aplicação isolada de Se e S melhora essas características e aumentam a produtividade de grãos. Para o Se doses ótimas estão entre 2,5 a 3,5 mg dm⁻³ e para o S doses entre 65 a 90 mg dm⁻³.

Para as características fisiológicas das sementes a interação dos elementos Se e S mostrou-se prejudicial, com redução no vigor e germinação. Já a aplicação isolada de Se aumenta a qualidade fisiológica das sementes do feijão comum cv. BRSMG Madrepérola na faixa de 2 a 3 mg dm⁻³ de Se, com efeito superior à aplicação de S.