

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RHAYRA ZANOL PEREIRA

**FONTES E DOSES DE SELÊNIO NO FEIJÃO-CAUPI: EFEITOS NA QUALIDADE
FISIOLÓGICA DE SEMENTES**

CHAPADÃO DO SUL - MS
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RHAYRA ZANOL PEREIRA

**FONTES E DOSES DE SELÊNIO NO FEIJÃO-CAUPI: EFEITOS NA QUALIDADE
FISIOLÓGICA DE SEMENTES**

Orientadora: Profa. Dra. Charline Zaratini Alves

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato
Grosso do Sul, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia, área
de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL - MS
2019



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Campus de Chapadão do Sul



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Rhayra Zanol Pereira

ORIENTADOR (A): Prof. (a) Dr. (a) Charline Zaratín Alves

Fontes e doses de selênio na cultura do feijão-caupi: efeitos na qualidade fisiológica de sementes

Prof.(a) Dr.(a) Presidente Charline Zaratín Alves

Prof.(a) Dr.(a) Paulo Eduardo Teodoro

Prof.(a) Dr.(a) Renato Jaqueto Goes

Chapadão do Sul, 12 de Março de 2019.

Dedico

À deus,

Gratidão a Deus e a santíssima trindade por todas as bênçãos concedidas durante toda minha vida.

À minha mãe,

Luciney Zanot

Por todo o amor, dedicação, renúncias, orações e apoio em minhas escolhas.

À minha irmã,

Rhaynara Zanot Pereira

Pela amizade, cumplicidade, companheirismo e apoio nos momentos difíceis da minha vida.

À família e amigos,

Pelo apoio, companheirismos, mesmo de longe, fazendo-me acreditar nos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus, Jesus e Espírito Santo pelo dom da vida e saúde, por guiar meus passos durante esta jornada e pela força e proteção concedidas para lutar por meus objetivos.

Á Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, MS, campus Chapadão do Sul por todo ensinamento durante o mestrado. Á todos os professores e funcionários desta instituição, que participaram direta e indiretamente deste trabalho.

Á equipe da Nidera Sementes pelo apoio e oportunidade, consentindo com os horários de aula, em especial ao Gean Cesar Paulino, amigo e coordenador, pelos conselhos nos momentos de dificuldade.

A minha orientadora Charline Zaratín Alves pela orientação, conhecimento e paciência. Ao professor Paulo Eduardo Teodoro por dedicar parte do seu tempo sanando minhas dúvidas e paciência auxiliando em toda construção estatística.

Á todos os colegas do Laboratório de Tecnologia de Sementes: Mariely, Viviane, Anieli, Elícia e Mayara pelo convívio, ajuda e contribuições para este trabalho.

Aos meus amigos da vida Michele Botelho, Maria Gabriela, Jorgiani de Ávila, Guilherme Ricci, Gisele França, Denner Potin, Hallana Herrera por toda a amizade e confiança, me aconselhando sempre nos momentos bons e ruins, e alguns presentes mesmo que distantes!

Aos meus familiares, a minha mãe Luciney Zanol, irmã Rhaynara Zanol, minha eterna gratidão por todo ensinamento, companheirismo e apoio em todas as decisões tomadas em minha vida. Obrigada por não medirem esforços ao me ajudar. Vocês são a razão do meu viver e motivo por querer ser sempre melhor.

EPÍGRAFE

“O rio atinge seus objetivos, porque aprendeu a contornar obstáculos.”

(Lao-Tsé)

“Ninguém ignora tudo, ninguém sabe tudo. Por isso, aprendemos sempre.”

(Paulo Freire)

“Conserve os olhos fixos num ideal sublime, e lute sempre pelo que deseja, pois só os fracos desistem e só quem luta é digno de vida.

(Autor Desconhecido)

RESUMO

PEREIRA, Rhayra Zanol. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Fontes e doses de selênio no feijão-caupi: efeitos na qualidade fisiológica de sementes.

Professora Orientadora: Dra. Charline Zaratin Alves

O selênio (Se) é um elemento benéfico para algumas plantas e essencial para a nutrição humana. Nos vegetais, ele desempenha papel importante na formação de compostos selênicos e ativa enzimas hidrolíticas que podem auxiliar na germinação de sementes e reduzir situações de estresses abióticos durante a germinação. Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação foliar de fontes e doses de selênio na qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e esquema fatorial $(6 \times 2) + 1$. Foram utilizadas duas fontes de selênio [selenato de sódio (Na_2SeO_4) e selenito de sódio (Na_2SeO_3)] e seis doses de Se (2,5, 5, 10, 20, 40 e 60 g ha⁻¹) e uma testemunha sem aplicação. A caracterização fisiológica foi realizada por meio da primeira contagem de germinação, germinação total, emergência em substrato, envelhecimento acelerado, teste de frio, condutividade elétrica, comprimento e massa seca de parte aérea e raiz. A aplicação de Se, independente da fonte e da dose proporciona maiores médias de germinação de sementes sob envelhecimento acelerado e teste de frio, além de maior comprimento de parte aérea de plântulas de feijão-caupi. O selenato de sódio como fonte de Se aumenta a qualidade fisiológica de sementes em comparação ao selenito de sódio. A germinação de sementes após estresse pelo envelhecimento acelerado aumenta pelo uso do selenato de sódio mesmo em maiores doses, enquanto que o selenito proporciona resultados benéficos em doses menores. O selenato de sódio aumenta linearmente a germinação de sementes após o teste de frio e reduz linearmente o extravasamento de eletrólitos de sementes com o aumento na dose de Se. Não foi possível estabelecer dose ótima de Se, independente da fonte utilizada para a maioria das análises de qualidade fisiológica de sementes, portanto, são necessários mais estudos sobre aplicação de Se na cultura do feijão-caupi e seus efeitos na qualidade de sementes. A aplicação de selênio via foliar foi benéfica à qualidade das sementes de feijão-caupi.

PALAVRAS-CHAVE: *Vigna unguiculata*, aplicação foliar, selenato e selenito de sódio, vigor.

ABSTRACT

PEREIRA, Rhayra Zanol. Federal University of Mato Grosso do Sul. Sources and doses of selenium in cowpea crop: effects on the physiological quality of seeds.

Advisor: Dra. Charline Zaratin Alves.

Selenium (Se) is a beneficial element for some plants and essential for human nutrition. In plants, has an important role in the formation of selenium compounds and activate hydrolytic enzymes that can better seed germination and reduce abiotic stress during germination. The aim of this study was to evaluate the effect of foliar application of selenium sources and doses on the physiological quality of cowpea seeds. The experimental design was a randomized complete block design, with four replications. Two sources of selenium [sodium selenate (Na_2SeO_4) and sodium selenite (Na_2SeO_3)] and six doses of Se (2,5, 5, 10, 20, 40 and 60 g ha^{-1}) and a control without application. The physiological characterization was performed by first germination count, total germination, substrate emergence, accelerated aging, cold test, electric conductivity, length and dry mass of shoot and root. Selenium application regardless of source and dose, provides higher seed germination averages under accelerated aging and cold test, in addition to greater shoot length of cowpea seedlings. The Se application, regardless of source and dose, provides higher seed germination under accelerated aging and cold test, in addition to greater shoot length of cowpea seedlings. Sodium selenate as a source of Se increases the physiological quality of seeds compared to sodium selenite. Seed germination after accelerated aging stress is increased by the use of sodium selenate even at higher doses, while selenite provides beneficial results at lower doses. Sodium selenate linearly increases seed germination after the cold test and linearly reduces the extravasation of seed electrolytes with the increase in Se doses. It was not possible to establish optimal Se dose, regardless of the source used for the most physiological seed quality analyzes, therefore, further studies on Se application in cowpea and its effects on seed quality are required. Foliar selenium application was beneficial to the quality of cowpea seeds.

KEY-WORDS: *Vigna unguiculata*, foliar application, sodium selenate and sodium selenite, vigor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA		PÁGINA
1	Precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima do ar (°C) durante o período de condução do experimento.....	22

LISTA DE TABELAS

TABELA		PÁGINA
1	Resumo da análise de variância para primeira contagem de germinação (PCG), germinação total (GT), emergência em substrato (ES), envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF), condutividade elétrica (CE), comprimento de parte aérea (CPA) e radicular (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e radicular (MSR) de feijão-caupi em função das fontes e doses de selênio.....	27
2	Comparação de médias para os contrastes significativos entre testemunha <i>versus</i> fatorial para envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF), comprimento de parte aérea (CPA) e massa seca de raiz (MSR) de plântulas de feijão-caupi em função das fontes e doses de selênio.....	28
3	Comparação de médias entre as fontes de Se para emergência em substrato (ES), comprimento de parte aérea (CPA) e de raiz (CR) de plântulas de feijão-caupi em função das fontes e doses de selênio.....	28
4	Desdobramento da interação significativa entre fontes e doses de Se para a variável PCG (%) de sementes de feijão-caupi.....	29
5	Desdobramento da interação significativa entre fontes e doses de Se para germinação de sementes de feijão-caupi provenientes dos testes de EA e TF.....	31
6	Desdobramento da interação significativa entre fontes e doses de Se para a variável CE ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) de sementes de feijão-caupi	32
7	Desdobramento da interação significativa entre fontes e doses de Se para as variáveis MSPA e MSR de plântulas de feijão-caupi.	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Feijão-Caupi (<i>Vigna unguiculata</i>)	13
2.2 O Selênio na agricultura	14
2.2.1 Selênio no solo e no ambiente	14
2.2.2 Função e fisiologia do selênio nas plantas cultivadas	14
2.2.3 Selênio na qualidade das sementes	15
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
CAPÍTULO 1 - FONTES E DOSES DE SELÊNIO NO FEIJÃO-CAUPI: EFEITOS NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES	19
RESUMO	19
CHAPTER 1 - SOURCES AND DOSES OF SELENIUM IN COWPEA CROP: EFFECTS ON THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SEEDS	20
ABSTRACT	20
INTRODUÇÃO	21
MATERIAL E MÉTODOS	22
Descrição da área utilizada e delineamento experimental	22
Condução do experimento em campo	23
Avaliações realizadas	24
Primeira contagem e germinação total	24
Emergência em substrato	25
Envelhecimento acelerado	25
Teste de frio sem solo	25
Condutividade elétrica	26
Comprimento de raiz e parte aérea de plântulas	26
Massa seca de raiz e parte aérea de plântulas	26
Análise estatística	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A expansão da cultura do feijão-caupi no Brasil central é interessante dentro do sistema de produção, pois possibilita inserir outra cultura no sistema de rotação além da possibilidade de fazer o cultivo na entressafra. Como forma de explorar o potencial dessa cultura no cerrado, além da seleção de materiais competitivos para a região, é necessária a produção de sementes de qualidade. Problemas tecnológicos e de manejo são apontados como principais fatores para a baixa produtividade da cultura encontrada no país (FREIRE FILHO, 2011), e diversos autores apontam a baixa qualidade das sementes como um dos principais entraves para o desenvolvimento da cultura (DUTRA et al. 2012; LIMA et al. 2014; NOGUEIRA et al. 2014).

A utilização de sementes de qualidade é um dos fatores preponderantes para a obtenção de altas produtividades, justificando estudos que possibilitem entender e indicar manejos adequados para a nutrição das plantas (DUTRA et al. 2012). Para Nogueira et al. (2014), a semente é o principal insumo da lavoura, e sua qualidade fisiológica determinará condições para seu desenvolvimento inicial e vigor no campo, o que possibilitará um estande de grande potencial produtivo.

Para se obter sementes de qualidade, nutrição adequada da planta é necessária. Entre os elementos que podem ser fornecidos e possuem potencial para gerar resposta satisfatória na qualidade de sementes, além dos nutrientes convencionais, estão os elementos benéficos, como o selênio (Se). Nas plantas, o selênio exibe propriedades químicas semelhantes às do enxofre, estando presente em aminoácidos sulfurados como selenometionina e selenocisteína. Segundo Ramos et al. (2010), o Se participa também da promoção de atividades enzimáticas, principalmente dos sistemas antioxidantes. Seu fornecimento para as plantas tem tido o objetivo principal de produzir alimentos mais ricos no elemento, por meio do processo chamado biofortificação. Dessa forma, não se encontram pesquisas sobre seu fornecimento na qualidade fisiológica de sementes produzidas.

Assim, cada vez mais busca-se estudos de manejo que possibilite obter sementes de feijão-caupi com qualidade fisiológica superior e que possuam o potencial de gerar plantas altamente produtivas. Em vista do exposto, o presente trabalho objetivou estudar a aplicação foliar de Se na cultura do feijão-

caupi, utilizando diferentes doses de selenato e selenito de sódio como fonte deste elemento e verificar seus efeitos na qualidade fisiológica de sementes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Feijão-Caupi (*Vigna unguiculata*)

A globalização do agronegócio tem provocado reflexos no sistema de produção de muitas culturas, o que se verifica principalmente naquelas que dependem do fornecimento de grandes quantidades de insumos, mais especificamente fertilizantes e defensivos agrícolas (FREIRE FILHO, 2011). O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) vem se destacando com uma das culturas mais importantes como fonte de proteína humana, em países da África, Índia e na América tropical (RODRIGUES et al., 2015).

No Brasil, o cultivo do feijão-caupi tem se expandindo para a região dos cerrados, das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, onde é incorporado aos arranjos produtivos como safrinha após as culturas da soja e do arroz, e, em alguns locais, como cultura principal (FREIRE FILHO, 2011). Na safra 2017/18, a estimativa de área plantada foi de 1516 mil hectares distribuídos nas três safras (CONAB, 2019). Segundo levantamento desse órgão, a produtividade é baixa, com média de 506 kg ha⁻¹ devido ainda à condução de lavouras com baixa tecnologia nos estados do Norte e Nordeste. A produção total está estimada em 713,4 mil toneladas, representando 21% da produção total de feijão no país (CONAB, 2019).

Na região dos cerrados, principalmente quando é cultivado em forma de safrinha, o feijão-caupi tem custo muito competitivo, fator que tem aumentado o interesse dos produtores pela cultura. Além disso, a produção é mais tecnificada, pois entra num sistema já consolidado de produção de grãos, o que possibilita que o produto tenha boa aceitação por parte de comerciantes, agroindustriais, distribuidores e consumidores. A oferta de produto de alta qualidade, em quantidade e com regularidade vem despertando o interesse de agroindustrias e está contribuindo para a abertura de novos mercados para a cultura (FREIRE FILHO, 2011).

2. 2 O Selênio na agricultura

2.2.1 Selênio no solo e no ambiente

O Selênio (Se), classificado como elemento não metal, sendo um dos elementos mais dispersos e com abundância relativamente baixa, com concentração em torno de $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ (KABATA-PENDIAS, 2011). Apesar das rochas serem a fonte principal de Se, outras fontes naturais, como vulcões e antropogênicas como fertilizantes agrícolas contribuem para a introdução deste elemento no sistema solo-planta (RAMOS et al., 2011).

Nos solos, a concentração de Se varia entre $0,01$ a 2 mg kg^{-1} , e pode ser afetada diretamente por processos químicos, como o potencial hidrogeniônico (pH), teor de matéria orgânica e processos de sorção e dessorção do solo (LENZ; LENS, 2009). Em solos intemperizados, assim como ocorre com o fósforo (P), o Se pode sofrer forte adsorção com os óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), tornando-o indisponível às plantas (BOLDRIN et al., 2012).

Apesar de ser um dos elementos absorvidos pelas plantas, a essencialidade deste às plantas tem sido questionada no mundo científico, dada a sua importância em alguns cultivos (ZHU et al., 2009). Muitos são os relatos relacionados ao papel do Se na manutenção das plantas, aumentando o tempo em que ficam fisiologicamente ativas e conseqüentemente aumentando a produção vegetal (RAMOS et al., 2011; BOLDRIN et al., 2012).

2.2.2 Função e fisiologia do selênio nas plantas cultivadas

Na natureza, o Selênio (Se) pode ser encontrado em formas orgânicas e inorgânicas. Para as plantas, a absorção de Se ocorre a partir de formas inorgânicas disponíveis, como o selenito (SeO_3^{2-}) e o selenato (SeO_4^{2-}), predominantemente. Segundo Whangner (2002), as plantas cultivadas apresentam capacidades distintas na absorção e utilização do Se, sendo classificadas como acumuladoras e não acumuladoras de Se.

São aproximadamente 25 gêneros de plantas consideradas tolerantes ao acúmulo de Se, tais como soja (*Glycine max* L.), alho (*Allium sativum* L.), cebola (*Allium cepa* L.), brócolis (*Brassica oleracea* L.), entre outras. Supõe-se que espécies acumuladoras de Se sejam capazes de acumular mais de 4.000

mg de Se por kg de massa seca (TERRY et al., 2000). Entretanto, a maioria das plantas cultivadas tem baixa tolerância a este elemento, com teores que, usualmente acima de 25 mg de Se por kg de massa seca, são tóxicas. Os limites de Se nos tecidos vegetais foram definidos em 77 $\mu\text{g g}^{-1}$ para milho (*Zea mays* L.), 42 $\mu\text{g g}^{-1}$ para arroz (*Oryza sativa* L.), 19 $\mu\text{g g}^{-1}$ para trigo (*Triticum aestivum*) e 60 $\mu\text{g g}^{-1}$ para soja (*Glycine max* L.) (RANI et al., 2005).

No interior dos tecidos vegetais, as formas inorgânicas são convertidas em formas orgânicas, resultando em compostos metilados com baixo peso molecular, assim como a aminoácidos sulfurados, a selenometionina e a selenocisteína (MARTINEZ et al., 2009). Segundo Turakainem et al. (2005), umas das principais funções do selênio é a capacidade de reforçar as plantas no combate oxidativo celular promovido por espécies reativas de oxigênio (EROs), sendo assim considerado um antioxidante vegetal. Entretanto, em concentrações elevadas, este elemento pode causar toxidez às plantas por meio de reações oxidativas (MARTINEZ et al., 2009).

Existem diferentes mecanismos de absorção e translocação do selenito e selenato pelos vegetais. Para a absorção do selenato (SeO_4^{2-}), as plantas utilizam processos ativos, com gasto de energia; por sua vez, na absorção de selenito (SeO_3^{2-}), ocorre o mecanismo de difusão, que é passivo (LYONS et al., 2005). Estudos de Ramos et al. (2011) demonstraram que o selenato é a forma indicada para a biofortificação de cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.), enquanto o selenito é tóxico.

2.2.3 Selênio na qualidade das sementes

Poucos são os estudos que evidenciam a influência do Se na qualidade fisiológica das sementes, tendo sido frequentemente relatado estudos relacionados à biofortificação agrônômica por meio de adubações foliares, no solo e no tratamento de sementes com o objetivo de elevar o consumo de Se pela população (WELCH, 2008). Trabalhos como o de Ramos et al. (2011) concluíram que a aplicação de Se na forma de selenito e selenato em plantas de arroz promoveram incrementos de 13% na produtividade. Para milho, Chilimba et al. (2009) encontraram resultados positivos aplicando-se 100 g ha^{-1} de selenato de sódio e obtiveram teores de até 1,6 mg/ kg de Se nos grãos, atribuindo-se ao efeito protetor do Se, ativando a enzima catalase e reduzindo

o efeito da peroxidação lipídica, responsável pelo estresse oxidativo e baixa germinação das sementes (RAMOS et al., 2011). Outros estudos evidenciam que o fornecimento de Se diretamente às sementes via embebição, gera efeitos promissores no crescimento das plântulas, atrasam a senescência das sementes, aumenta a germinação em condições adversas (CHEN e SUNG, 2001), aumenta o crescimento das mudas (GERM et al. 2007) e a fosforilação oxidativa nos tecidos das plantas, responsável pelo acúmulo de energia metabólica (ATP) (KAKLEWSKI et al, 2008).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOLDRIN, P. F.; FAQUIN, V.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L. R. G.; BASTOS, C. E. A.; CARVALHO, G. S.; COSTA, E. T. S. Selenato e selenito na produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 6, p. 831-837, 2012.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento safra brasileira de grãos**, v. 6, Safra 2018/19 - Quinto levantamento, Brasília, p. 1-125, fevereiro. 2019.

CHEN, C.C.; SUNG, J.M. Priming bitter gourd seeds with selenium solution enhances germinability and antioxidative responses under sub-optimal temperature. **Physiology Plantarum**, v.111, n.1, p. 9–16, 2001.

CHILIMBA, A.D.C.; BLACK, C.R.; LAMMEL, J. MEACHAM, M.C.; YOUNG, S.D.; BROADLEY, M.R. **Agronomic biofortification of maize (*Zea mays* L.) with selenium in Malawi**. In: Selenium deficiency toxicity and biofortification for human health. Suzhou: China. p.77-78. 2009.

DUTRA, A.S.; BEZERRA, F.T.C.; NASCIMENTO, P.R.; LIMA, D.C. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão caupi em função da adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n.4, pp. 816-821, 2012.

FREIRE FILHO, F.R. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Embrapa Meio-Norte, 2011. 84p.

GERM, M.; STIBILJ, V.; KREFT, I. Metabolic importance of selenium for plants. **The European Journal of Plant Science and Biotechnology**, v.1, n. 1, p. 91–97, 2007.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4.ed. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2011. 548p.

KAKLEWSKI, K.; NOWAK, J.; LIGOCKI, M. Effects of selenium content in green parts of plants on the amount of ATP and ascorbate-glutathione cycle enzyme activity at various growth stages of wheat and oil seed rape. **Journal of Plant Physiology**, v.165, n. 1, p. 1011–1022, 2008.

LENZ M.; LENS P. N. L. The essential toxin: The changing perception of selenium in environmental sciences. **Science Total Environment**, v. 407, n. 1, p. 3620–3633, 2009.

LIMA, J.M.E.; FAGUNDES, G.S.; SMIDERLE, O.J. Qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi tratadas com terra diatomácea e infestadas por carunchos. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.7, n.3, p. 733-746, 2014.

LYONS, G.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; STANGOULIS, J.; GRAHAM, R. Selenium concentration in wheat grain: Is there sufficient genotypic variation to use in breeding. **Plant and Soil**, v. 269, n. 1-2, p. 369-380, 2005.

MARTINEZ, R. A. S.; REZENDE, P. M.; ALVARENGA, A. A.; ANDRADE, M. J. B.; PASSOS, A. M. A. Doses e formas de aplicação de selênio na cultura da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 3, p.698-704, 2009.

NOGUEIRA, N.W.; FREITAS, R.M.O.; TORRES, S.B.; LEAL, C.C.P. Physiological maturation of cowpea seeds. **Journal of Seed Science**., vol.36, n.3, pp.312-317, 2014.

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; GUILHERME, L. R. G.; CASTRO, E. M.; ÁVILA, F. W.; CARVALHO, G. S.; BASTOS, C. E. A.; OLIVEIRA, C. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. **Plant, Soil and Environment**, v. 56, pp. 584–588, 2010.

RAMOS, S.J.; RUTZKE, M.A.; HAYNES, R.J.; FAQUIN, V.; GUILHERME, L.R.G.; LI, L. Selenium accumulation in lettuce germplasm. **Planta**, v. 233, p. 649-660, 2011.

RANI, N.; DHILLO, K. S.; DHILLON, S. K. Critical levels of selenium in different crops grown in an alkaline silty loam soil treated with selenite- Se. **Plant and Soil**, v. 277, n. 1, p. 367–374, 2005.

RODRIGUES, A. P. M.; JÚNIO, A. F. M.; TORRES, S. B.; NOGUEIRA, N. W.; FREITAS, R. M. O. Teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 638-644, 2015.

TERRY, N.; ZAYED, A.M.; DE SOUZA, M.P.; TARUN, A.S. Selenium in higher plants. **Annual review of plant physiology and plant molecular biology**, v. 51, n. 1, p. 401-432, 2000.

TURAKAINEN, M.; HARTIKAINEN, H.; SEPPANEN, M. **Selenium in plants**. In: EUROLA, M.; HIETAMNIEMI, V. Twenty years of selenium fertilization. Helsinki, Finland, 2005. 108 p. (Proceedings. Agrifood reports, 69).

WELCH, R. M. **Linkages between trace elements in food crops and human health**. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.). Micronutrient deficiencies in global crop production. New York: Springer, p. 287-309, 2008.

WHANGER, P. D. Selenocompounds in Plants and Animals and their Biological Significance. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 21, n. 1, p. 223-232, 2002.

ZHU, C., NAQVI, S., CAPELL, T., CRISTOU, P. Metabolic engineering of ketocarotenoid biosynthesis in higher plants. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 483, n. 1, p. 182–190, 2009.

1 **CAPÍTULO 1 - FONTES E DOSES DE SELÊNIO NO FEIJÃO-CAUPI:**
2 **EFEITOS NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES**

3
4 **RESUMO**

5
6 O selênio (Se) é um elemento benéfico para algumas plantas e essencial para a nutrição
7 humana. Nos vegetais, ele desempenha papel importante na formação de compostos
8 selênicos e ativa enzimas hidrolíticas, que podem auxiliar na germinação de sementes e
9 reduzir situações de estresses abióticos durante a germinação. Objetivou-se avaliar o
10 efeito da aplicação foliar de fontes e doses de selênio na qualidade fisiológica de
11 sementes de feijão-caupi. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com
12 quatro repetições e esquema fatorial (6x2)+1. Foram utilizadas duas fontes de selênio
13 [selenato de sódio (Na_2SeO_4) e selenito de sódio (Na_2SeO_3)], seis doses de Se (2,5, 5,
14 10, 20, 40 e 60 g ha⁻¹) e uma testemunha sem aplicação. A caracterização fisiológica foi
15 realizada por meio da primeira contagem de germinação, germinação total, emergência
16 em substrato, envelhecimento acelerado, teste de frio, condutividade elétrica,
17 comprimento e massa seca de parte aérea e raiz. A aplicação de Se, independente da
18 fonte e da dose proporciona maiores médias de germinação de sementes sob
19 envelhecimento acelerado e teste de frio, além de maior comprimento de parte aérea de
20 plântulas de feijão-caupi. O selenato de sódio como fonte de Se aumenta a qualidade
21 fisiológica de sementes em comparação ao selenito de sódio. A germinação de sementes
22 após estresse pelo envelhecimento acelerado aumenta pelo uso do selenato de sódio
23 mesmo em maiores doses, enquanto que o selenito proporciona resultados benéficos em
24 doses menores. O selenato de sódio aumenta linearmente a germinação de sementes
25 após o teste de frio e reduz linearmente o extravasamento de eletrólitos de sementes
26 com o aumento na dose de Se. Não foi possível estabelecer dose ótima de Se,
27 independente da fonte utilizada para a maioria das análises de qualidade fisiológica de
28 sementes, portanto, são necessários mais estudos sobre aplicação de Se na cultura do
29 feijão-caupi e seus efeitos na qualidade de sementes. A aplicação de selênio via foliar
30 foi benéfica à qualidade das sementes de feijão-caupi.

31
32 **PALAVRAS-CHAVE:** *Vigna unguiculata*, aplicação foliar, selenato e selenito de
33 sódio, vigor.

34 **CHAPTER 1 - SOURCES AND DOSES OF SELENIUM IN COWPEA CROP:**
35 **EFFECTS ON THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF SEEDS**

36

37 **ABSTRACT**

38

39 Selenium (Se) is a beneficial element for some plants and essential for human nutrition.
40 In plants, has an important role in the formation of selenium compounds and activate
41 hydrolytic enzymes that can better seed germination and reduce abiotic stress during
42 germination. The aim of this study was to evaluate the effect of foliar application of
43 selenium sources and doses on the physiological quality of cowpea seeds. The
44 experimental design was a randomized complete block design, with four replications.
45 Two sources of selenium [sodium selenate (Na_2SeO_4) and sodium selenite (Na_2SeO_3)]
46 and six doses of Se (2,5, 5, 10, 20, 40 and 60 g ha^{-1}) and a control without application.
47 The physiological characterization was performed by first germination count, total
48 germination, substrate emergence, accelerated aging, cold test, electric conductivity,
49 length and dry mass of shoot and root. Selenium application regardless of source and
50 dose, provides higher seed germination averages under accelerated aging and cold test,
51 in addition to greater shoot length of cowpea seedlings. The Se application, regardless
52 of source and dose, provides higher seed germination under accelerated aging and cold
53 test, in addition to greater shoot length of cowpea seedlings. Sodium selenate as a
54 source of Se increases the physiological quality of seeds compared to sodium selenite.
55 Seed germination after accelerated aging stress is increased by the use of sodium
56 selenate even at higher doses, while selenite provides beneficial results at lower doses.
57 Sodium selenate linearly increases seed germination after the cold test and linearly
58 reduces the extravasation of seed electrolytes with the increase in Se doses. It was not
59 possible to establish optimal Se dose, regardless of the source used for the most
60 physiological seed quality analyzes, therefore, further studies on Se application in
61 cowpea and its effects on seed quality are required. Foliar selenium application was
62 beneficial to the quality of cowpea seeds.

63

64 **KEY-WORDS:** *Vigna unguiculata*, foliar application, sodium selenate and sodium
65 selenite, vigor.

66

67

68 INTRODUÇÃO

69

70 O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é um alimento básico rico em proteínas,
71 vitaminas e minerais e sua produção global anual gira em torno de 5,5 milhões de
72 toneladas, semeados em cerca de 10,4 milhões de hectares (FAO, 2018). No Brasil, é
73 uma das culturas que mais tem se expandido quanto à área de cultivo e produção,
74 representando uma leguminosa importante no campo socioeconômico (FREITAS;
75 SILVA; SAMPAIO, 2012).

76 Baixas produtividades têm sido relatadas pelos produtores, sendo que uma das
77 principais causas deve-se a qualidade fisiológica e genética das sementes
78 (WAMALWA; MUOMA; WEKESA, 2016). Desse modo, muitas técnicas são
79 utilizadas na avaliação da qualidade de sementes, sendo os de vigor mais eficazes nesse
80 sentido, pois fornecem respostas sensíveis do vigor das plântulas, e podendo ser
81 adotados como complementares aos testes de germinação (RODRIGUES et al., 2015).

82 O uso de sementes que apresentam boa qualidade fisiológica é fator decisivo no
83 estabelecimento do cultivo de plantas agrícolas (MENDONÇA; RAMOS; FESSEL,
84 2003). As sementes com baixo potencial germinativo e vigor é um dos fatores que
85 influem em baixa produtividade e por consequência baixo retorno econômico. Para
86 obtenção de sementes de qualidade, a adequada nutrição da planta é necessária. Entre os
87 elementos benéficos que podem ser fornecidos e possuem potencial para gerar resposta
88 satisfatória na qualidade de sementes está o selênio (Se).

89 Apesar de sua importância para algumas culturas, o intervalo entre níveis
90 deficientes e tóxicos de Se é estreito (LIMA; PILON-SMITS; SCHIAVON, 2018).
91 Altas concentrações de Se podem afetar o desenvolvimento de plantas e a germinação e
92 vigor de sementes. As concentrações toleradas de Se, bem como os mecanismos de
93 toxicidade, variam dependendo da espécie (WHITE, 2016). A suplementação com Se
94 para as culturas e, conseqüentemente, enriquecimento das sementes, pode propiciar
95 melhorias na qualidade das mesmas, principalmente pelo seu papel estimulante do
96 crescimento vegetal (HASANUZZAMAN; HOSSAIN; FUJITA, 2010) e por seu efeito
97 pró-oxidativo, aumentando a atividade antioxidante durante o processo de germinação
98 em condições abióticas desfavoráveis (CAVERZAN et al., 2012). A interferência do Se
99 na qualidade fisiológica de sementes de plantas cultivadas ainda não é totalmente
100 elucidada, sendo necessário, portanto, mais estudos.

101 Nossa hipótese é que o Se aplicado via foliar na cultura do feijão-caupi poderia
 102 aumentar a qualidade fisiológica de sementes das sementes obtidas, principalmente
 103 quando submetidas a baixas e altas temperaturas durante a germinação. Ainda, que o
 104 selenito de sódio seria uma fonte mais apropriada para aplicação foliar. Assim, o
 105 objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de fontes e doses de selênio via foliar na
 106 cultura do feijão-caupi e seu efeito na qualidade fisiológica das sementes.

107

108 MATERIAL E MÉTODOS

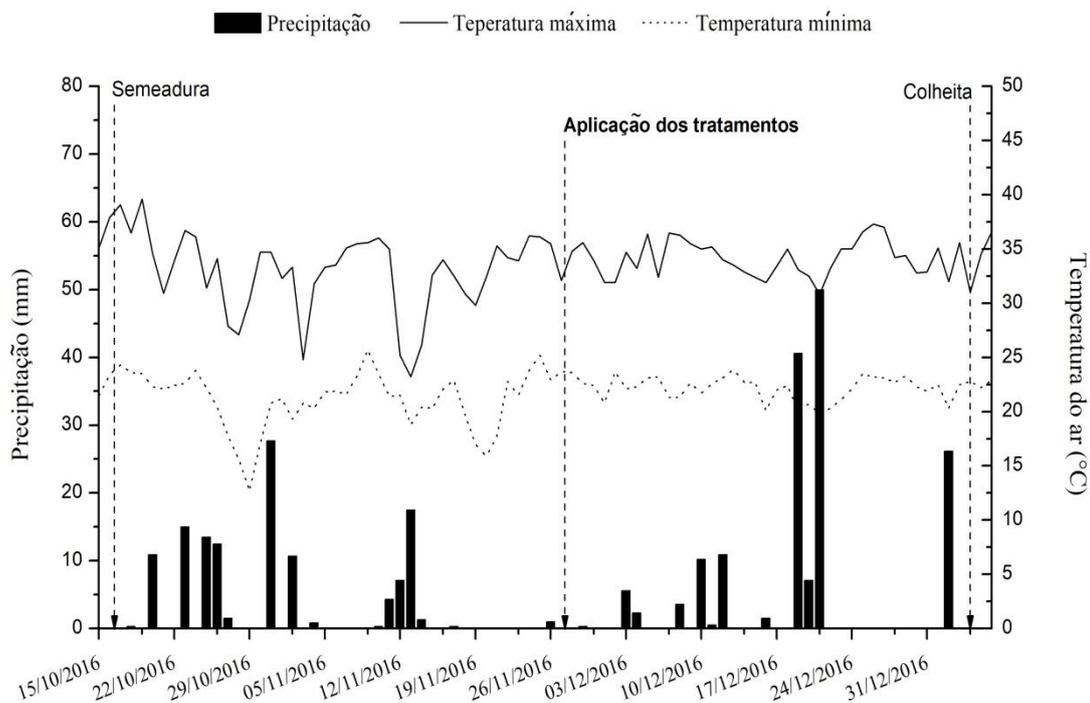
109

110 Descrição da área utilizada e delineamento experimental

111

112 O experimento foi desenvolvido em área experimental no ano de 2016, no
 113 município de Selvíria-MS, localizada ao sul da região centro-oeste do Brasil,
 114 apresentando como coordenadas geográficas 51° 22' W e 20° 22' S, com altitude de 335
 115 metros. Mediante levantamento e utilizando-se o Sistema Brasileiro de Classificação
 116 dos Solos (EMBRAPA, 2013), o solo da área experimental é denominado de
 117 LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, correspondente ao Typic Haplorthox,
 118 segundo classificação internacional (SOIL SURVEY STAFF, 2010).

119



120

121 **Figura 1.** Precipitação pluvial (mm), temperatura máxima e mínima do ar (°C) durante
122 o período de condução do experimento.

123

124 O clima da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação
125 chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando temperatura e precipitação média
126 anual de 25 °C e 1313 mm (média dos últimos 25 anos), respectivamente (PORTUGAL
127 et al., 2015). Próximo à área experimental existe uma estação meteorológica, cujos
128 dados foram utilizados para o acompanhamento da precipitação pluvial (mm),
129 temperatura máxima e mínima do ar (°C) durante o período de condução do
130 experimento (Figura 1).

131 Antes da instalação do experimento em campo, foi realizada amostragem do solo
132 na camada de 0–0,20 m para análise química segundo método descrito por Raij et al.
133 (2001), cujos resultados foram: pH (CaCl₂ 0,01) 5,2; fósforo (resina) 34 mg dm⁻³;
134 enxofre (fosfato de cálcio) 8 mg dm⁻³; potássio (resina) 2,7 mmol_c dm⁻³; cálcio (resina)
135 14 mmol_c dm⁻³; magnésio (resina) 14 mmol_c dm⁻³; H+Al (tampão SMP) 26 mmol_c dm⁻³;
136 SB 30,7 mmol_c.dm⁻³; CTC 56,7 mmol_c dm⁻³; saturação de bases 54%; boro (água
137 quente) 0,19 mg dm⁻³; cobre (DTPA) 2,7 mg dm⁻³; ferro (DTPA) 19 mg dm⁻³; manganês
138 (DTPA) 12,4 mg dm⁻³; zinco (DTPA) 6,1 mg dm⁻³; e matéria orgânica 18 g dm⁻³. Nos
139 anos anteriores, o solo foi cultivado com culturas anuais em sistema de plantio
140 convencional, sendo cultivo de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) entre 2013 e 2015.

141 O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema
142 fatorial (6 x 2) + 1, com quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram: fontes de
143 selênio [selenato de sódio (Na₂SeO₄) e selenito de sódio (Na₂SeO₃)] e seis doses de Se
144 (2,5, 5, 10, 20, 40 e 60 g ha⁻¹) e uma testemunha sem aplicação. Cada parcela
145 experimental era composta por cinco linhas de três metros de comprimento, totalizando
146 uma área útil de parcela de 6,75 m².

147

148 **Condução do experimento em campo**

149

150 O solo da área experimental foi preparado com uma aração (arado de disco) e
151 duas gradagens (grade intermediária e niveladora). A semeadura foi realizada com
152 espaçamento de 0,45 m entre linhas e densidade de semeadura de 11,2 sementes m⁻¹. De
153 acordo com análise de solo e recomendações de adubação para a cultura (RIBEIRO,
154 2002), foi realizada adubação no sulco de semeadura com 20 kg ha⁻¹ de K₂O e 20 kg ha⁻¹

155 P_2O_5 aplicados na forma de KCl (33 kg ha⁻¹) e superfosfato simples (110 kg ha⁻¹).
156 Foram utilizadas sementes de feijão-caupi, variedade BRS-Tumucumaque. As sementes
157 foram tratadas com fungicida carboxin + thiram na dose de 200 mL 100 kg de sementes⁻¹.
158 Após a secagem, as sementes foram inoculadas com inoculante turfoso para o feijão-
159 caupi (cepa SEMIA 6462 com $2,0 \times 10^9$ unidades formadoras de colônia g⁻¹), com 8 g
160 kg⁻¹ de semente. O inoculante foi dissolvido em uma solução açucarada a 10% e
161 gradualmente adicionado e misturado com as sementes, em um misturador de concreto a
162 uma velocidade constante de 18 rpm por cinco minutos. A emergência se iniciou quatro
163 dias após a semeadura (DAS).

164 A aplicação dos tratamentos ocorreu 40 dias após a emergência (DAE). O Se foi
165 diluído em água e a aplicação realizada com calda equivalente a 200 L ha⁻¹ equipado
166 com bico tipo leque. Os tratamentos foram aplicados às 9h00, com temperatura de 25
167 °C, umidade relativa do ar (UR) de 75%, e velocidade do vento de 6,7 km h⁻¹. A colheita
168 se deu aos 75 DAE. Os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com a
169 necessidade e recomendação para a cultura do feijão-caupi (RIBEIRO, 2002). A
170 primeira aplicação de herbicida ocorreu 17 DAE, utilizando-se os ingrediente ativos
171 (i.a.) fomesafen adicionado do Fenoxaprop-p-etílico, ambos na dose de 1 L ha⁻¹ do
172 produto comercial (p.c.). A aplicação de fungicida ocorreu aos 22 e 35 DAE, utilizando-
173 se o tiofanato-metílico na dose de 140 g ha⁻¹ p.c e mancozeb na dose de 2 kg ha⁻¹ p.c.,
174 respectivamente. Aos 28, 42 e 52 DAE, ocorreram as aplicações de inseticida, fazendo
175 uso do acefato, clorpirifos e beta-ciflutrina nas doses de 1,4 kg ha⁻¹, 1,25 L ha⁻¹ e 100
176 mL ha⁻¹ p.c. respectivamente para cada data e produto.

177

178 **Avaliações realizadas**

179

180 Após a colheita, as sementes foram submetidas aos testes de germinação e vigor
181 (primeira contagem de germinação, germinação total, emergência em substrato,
182 envelhecimento acelerado, teste de frio, condutividade elétrica, comprimento e massa
183 seca de raiz e parte aérea de plântulas).

184

185 **Primeira contagem e germinação total**

186

187 O teste de germinação foi realizado com quatro repetições de 50 sementes por
188 tratamento, utilizando como substrato, papel germitest, contendo duas folhas de papel

189 de germinação sobre a qual foram depositadas as sementes, e uma para seu
190 recobrimento. As folhas foram previamente umedecidas com água destilada na
191 proporção de 2,5 vezes a massa do papel não hidratado, e após as confecções dos rolos,
192 foram mantidos no germinador a temperatura de 25 °C. A primeira e a última contagem
193 de germinação foram realizadas no quinto e oitavo dia, respectivamente, computando-se
194 a percentagem média de plântulas normais segundo os critérios estabelecidos pelas
195 Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

196

197 **Emergência em substrato**

198

199 Para o teste de emergência de plântulas foram utilizadas quatro repetições de 50
200 sementes por tratamento, semeadas em substrato comercial, dentro de caixas de
201 poliestireno expandido, com irrigações duas vezes ao dia. A emergência foi obtida no
202 décimo dia após a semeadura.

203

204 **Envelhecimento acelerado**

205

206 Realizado segundo a metodologia descrita por Marcos Filho (1999), utilizando-se
207 quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento, onde 200 sementes foram
208 colocadas sobre a tela de inox de uma caixa plástica (gerbox), contendo 40 mL de água
209 destilada. Após tampadas, as caixas foram levadas ao germinador regulado a
210 temperatura de 41 °C, onde permaneceram por 48 horas. Transcorrido esse período, as
211 sementes foram semeadas conforme a descrição para o teste de germinação (BRASIL,
212 2009) e a avaliação das plântulas normais foi realizada no quinto dia após a instalação
213 do teste.

214

215 **Teste de frio sem solo**

216

217 Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento. As
218 mesmas foram semeadas em rolos de papel (germitest) umedecidos e colocados em
219 temperatura constante 10 °C por período de sete dias. Transcorrido esse período, os
220 rolos foram acondicionados em temperatura constante de 25 °C por mais sete dias, com
221 avaliação feita de acordo com os mesmos padrões do teste de germinação (BRASIL,
222 2009).

223

224 Condutividade elétrica

225

226 Para o teste de condutividade elétrica foram utilizadas quatro repetições por
227 tratamento, com 25 sementes, sendo aferidas as massas em balança analítica com
228 precisão de quatro casas decimais. As sementes foram colocadas em copos plásticos,
229 sendo embebidas em 75 mL de água destilada, e levadas à incubadora BOD por 24h a
230 25 °C. Após esse período, a leitura da condutividade elétrica foi realizada com
231 condutivímetro, e os valores expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de semente (NAKAGAWA,
232 1999).

233

234 Comprimento de raiz e parte aérea de plântulas

235

236 Foi realizado com quatro repetições de 20 sementes para cada tratamento,
237 seguindo o mesmo padrão do teste de germinação. Após a germinação das sementes, as
238 plântulas foram medidas com régua graduada em mm, da ponta da raiz até o colo para
239 comprimento de raiz, e do colo até a inserção dos cotilédones para comprimento de
240 parte aérea das plântulas.

241

242 Massa seca de raiz e parte aérea de plântulas

243

244 Logo após as mensurações de comprimento, a raiz e a parte aérea das plântulas
245 foram separadas e colocadas para secagem em estufa de ventilação forçada à
246 temperatura de 65 °C, até atingirem peso constante. Realizou-se a pesagem das
247 amostras e os dados foram expressos em mg planta^{-1} .

248

249 Análise estatística

250

251 Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo o fator quantitativo
252 (doses de Se) submetido a ajuste de regressão polinomial (modelos linear e quadrático)
253 e o fator qualitativo (fontes de Se) a comparação de médias pelo teste de Tukey. Esse
254 teste também foi aplicado quando o contraste testemunha versus fatorial foi
255 significativo. Em todos os casos adotou-se 5% de probabilidade para ocorrência dos
256 erros do tipo I e II.

257

258 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

259

260 Os coeficientes de variação obtidos no presente trabalho apresentaram valores
 261 variando entre 6,79 e 22,72, valores estes, considerados baixos para este tipo de análises
 262 (BANZATO; KRONKA, 1992), o que indica precisão na condução e avaliação do
 263 experimento (Tabela 1). Pelo resumo da análise de variância foi possível verificar que
 264 houve efeito significativo de testemunha *versus* fatorial apenas para EA, TF, CPA e CR.
 265 Ainda, foi possível verificar que a GT, CPA e CR foram influenciados de maneira
 266 significativa pelas doses de Se, porém, não houve ajuste significativo para os modelos
 267 de regressão.

268

269 **Tabela 1.** Resumo da análise de variância para primeira contagem de germinação
 270 (PCG), germinação total (GT), emergência em substrato (ES), envelhecimento
 271 acelerado (EA), teste de frio (TF), condutividade elétrica (CE), comprimento de parte
 272 aérea (CPA) e radicular (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e radicular (MSR) de
 273 feijão-caupi em função das fontes e doses de selênio.

FV	GL	PCG	GT	ES	EA	TF	CE	CPA	CR	MSPA	MSR
		----- (%) -----					($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	---- (cm) ----	-- (mg plântula ⁻¹) --		
Fonte (F)	1	884,08*	8,33 ^{ns}	208,33*	918,75*	75,00 ^{ns}	866,57 ^{ns}	31,82*	58,52*	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Doses (D)	5	234,88*	430,93*	87,00 ^{ns}	1931,75*	485,73*	491,87 ^{ns}	6,62*	7,16*	0,14*	0,02*
FxD	5	1232,08*	91,33 ^{ns}	21,93 ^{ns}	692,95*	448,00*	1483,13*	1,18 ^{ns}	2,78 ^{ns}	0,04*	0,02*
Test vs Fatorial	1	46,31 ^{ns}	13,56 ^{ns}	18,69 ^{ns}	378,52*	375,41*	142,44 ^{ns}	8,31*	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02*
Resíduo	39	85,03	63,36	37,33	73,59	25,92	251,52	0,80	1,83	0,01	0,004
CV (%)		15,44	9,31	6,79	21,14	17,85	9,09	11,81	9,09	22,72	25,49

274 ns e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; GL: graus de
 275 liberdade; CV: coeficiente de variação.

276

277 Com exceção de MSR, a média do tratamento fatorial foi superior à testemunha
 278 para as demais variáveis estudadas (Tabela 2). O Se, mesmo não sendo considerado um
 279 nutriente, é um elemento benéfico para diversas culturas (WHITE, 2016). Seus
 280 benefícios estão relacionados com a redução de estresse oxidativo, tanto por meio
 281 enzimático, quanto não enzimático, e até mesmo pela indução de compostos do
 282 metabolismo secundário, como flavonoides e compostos fenólicos, que conferem maior
 283 resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos, desde a germinação até o pleno
 284 desenvolvimento da cultura (CHU; YAO; ZHANG, 2010). Ainda, seus efeitos se
 285 estendem até o estímulo do alongamento e divisão celular, por meio da ação de formas

286 redox do ascorbato, o qual tem sua produção estimulada na presença de Se
287 (HOREMANS; FOYER; ASARD, 2000).

288

289 **Tabela 2.** Comparação de médias para os contrastes significativos entre testemunha
290 *versus* fatorial para envelhecimento acelerado (EA), teste de frio (TF), comprimento de
291 parte aérea (CPA) e massa seca de raiz (MSR) de plântulas de feijão-caupi em função
292 das fontes e doses de selênio.

Tratamento	EA ----- (%) -----	TF -----	CPA (cm)	MSR (mg plântula ⁻¹)
Testemunha	35,50 b	1,50 b	6,08 b	0,12 a
Fatorial	45,63 a	11,58 a	7,58 a	0,10 b

293 Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de
294 probabilidade.

295

296 Comparando-se as fontes de selênio aplicadas via foliar, foi possível verificar que
297 para as variáveis ES, CPA e CR, o selenato de sódio proporcionou resultados superiores
298 aos obtidos quando se aplicou selenito de sódio (Tabela 3). O selenato por ser mais
299 facilmente translocado no tecido vegetal, pode chegar em concentrações mais altas nas
300 vias de dreno (LIMA; PILON-SMITS; SCHIAVON, 2018). Vários autores constataram
301 que teores adequados de Se nas sementes promovem aumento da germinação e
302 estimulam o crescimento de plântulas de diversas espécies (HASANUZZAMAN;
303 HOSSAIN; FUJITA, 2010).

304

305 **Tabela 3.** Comparação de médias entre as fontes de Se para emergência em substrato
306 (ES), comprimento de parte aérea (CPA) e de raiz (CR) de plântulas de feijão-caupi em
307 função das fontes e doses de selênio.

Fonte de Se	ES (%)	CPA ----- (cm) -----	CR
Selenato	93,33 a	8,39 a	16,01 a
Selenito	89,17 b	6,76 b	13,80 b

308 Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de
309 probabilidade.

310

311 O selenito tem maior potencial de ocasionar fitotoxidez do que o selenato devido
312 a rápida conversão do selenito a selenoaminoácidos, que depois poderão ser
313 incorporados em proteínas de plantas (DENG et al., 2017). Segundo Sors, Elis e Salt
314 (2005), a falta de integração de selenoaminoácidos (selenometionina, selenocisteína)
315 nas proteínas é o fator que mais contribui para toxidez de Se em plantas. Estes mesmos

316 autores afirmam que plantas acumuladoras de Se tem essa capacidade por apresentar
 317 rotas metabólicas diferenciadas que permitem o desvio da assimilação de Se em
 318 proteínas, reduzindo seu potencial fitotóxico.

319 A PCG das sementes obtidas do cultivo do feijão-caupi foi influenciada de
 320 maneira significativa ($p \leq 0,05$) pela interação entre fontes e doses de selênio aplicados
 321 via foliar (Tabela 4). O desdobramento da interação demonstra que para as doses em
 322 função de cada fonte de Se, não foi possível obter ajuste significativo para as regressões
 323 polinomiais (primeiro e segundo graus). Quanto ao desdobramento de fontes dentro de
 324 cada dose de Se, foi possível observar que na menor dose ($2,5 \text{ g ha}^{-1}$) e nas doses de 20,
 325 40 e 60 g ha^{-1} , o fornecimento de selenato de sódio como fonte de Se proporcionou
 326 maiores valores de germinação quando comparadas a aplicação foliar de selenito,
 327 enquanto que para as doses de 5 e 10 g ha^{-1} de Se, o selenito de sódio propiciou valores
 328 de PCG superiores ao selenato de sódio.

329

330 **Tabela 4.** Desdobramento da interação significativa entre fontes e doses de Se para a
 331 variável PCG (%) de sementes de feijão-caupi.

Fonte	Doses (g ha^{-1})						Equação	R ²
	2,5	5,0	10	20	40	60		
Selenato	63,5 a	47,5 b	55,0 b	77,5 a	66,0 a	63,5 a	Sem ajuste	
Selenito	48,0 b	73,0 a	75,0 a	46,5 b	36,5 b	43,0 b	Sem ajuste	

332 Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de
 333 probabilidade.

334

335 O selenato é uma fonte de Se com capacidade de ser absorvida mais rapidamente
 336 pela planta, uma vez que seu comportamento é semelhante ao sulfato, portanto, é
 337 absorvido pelas vias transportadoras de sulfato (GUPTA; GUPTA, 2017). Ainda, cabe
 338 ressaltar que o selenato é um composto altamente oxidado, sendo necessário que ele
 339 passe por inúmeros processos até se tornar Se orgânico, como selenocisteína (SeCys) e
 340 selenometionina (SeMet), conferindo-o maior capacidade de translocação pelos tecidos
 341 vegetais (WHITE, 2016). O selenito, por outro lado, é translocado via transportadores
 342 de fosfato (LI; MCGRATH; ZHAO, 2008), e também, por ser menos oxidado que o
 343 selenato, é convertido em formas orgânicas mais rapidamente, sendo que dessa forma, o
 344 mesmo apresenta menor translocação na planta, demorando para chegar em folhas e
 345 sementes (LIMA; PILON-SMITS; SCHIAVON, 2018).

346 Devido à alta capacidade de translocação do selenato via xilema, é possível que
 347 concentrações maiores de Se sejam carregados para as sementes durante o processo de

348 enchimento de vagens. Liu et al. (2017) demonstraram que a concentração de Se nas
349 sementes de nabo (*Brassica napus* L.) foi maior em plantas tratadas com selenato em
350 comparação com plantas tratadas com selenito. Ekanayake et al. (2015) também
351 relataram que quando aplicado 30 g ha⁻¹ de Se via foliar na cultura da lentilha (*Lens
352 culinaris* Medikus), a concentração de Se nas sementes foi significativamente maior
353 quando tratadas com selenato (1,4 mg kg⁻¹) em comparação com selenito (0,9 mg kg⁻¹).
354 Yun, Zijian e Peng. (1997) relataram que sementes tratadas com Se (5 mg L⁻¹ de água)
355 tiveram aumento na germinação e crescimento de plântulas de trigo. Estudos com
356 utilização de condicionamento em solução com Se, demonstraram que baixas
357 concentrações deste elemento benéfico (15–60 µmol L⁻¹) promoveram maior
358 germinação de sementes de arroz, sendo este fato atribuído à síntese de substâncias
359 promotoras da germinação e a atividade eficiente de enzimas hidrolíticas, as quais
360 podem estimular a mobilização e utilização eficientes de reservas de sementes
361 (atividade das amilases no amido, principalmente), além de reorganização de
362 membranas e redução do extravasamento de metabólitos em sementes em solução
363 (KHALIQ et al., 2015). O efeito positivo de Se sobre a germinação de sementes
364 também está relacionado ao aumento na atividade antioxidante da glutathiona-peroxidase
365 e ativar o ciclo de ascorbato-glutationa (SAJEDI, 2015).

366 Desdobrando-se a interação significativa para EA, foi possível verificar que para
367 as doses dentro de cada fonte de Se, novamente não obteve-se ajuste a nenhum modelo
368 de regressão (Tabela 5). Em contrapartida, comparando-se as fontes dentro de cada dose
369 de Se, verifica-se que com exceção da maior dose de Se proveniente do selenito de
370 sódio (60 g ha⁻¹), o selenato de sódio proporcionou maiores valores de germinação de
371 sementes submetidas às condições de alta temperatura e umidade do teste de
372 envelhecimento acelerado. No desdobramento de doses dentro de cada fonte de Se para
373 o TF, foi possível verificar que para o selenato de sódio, as médias ajustaram-se a uma
374 equação linear crescente, indicando aumento na porcentagem de germinação das
375 sementes submetidas a baixas temperaturas durante a germinação, mediante acréscimo
376 nas doses de Se aplicados via foliar (Tabela 5). Em contrapartida, para o selenito de
377 sódio, não houve ajuste a equação de regressão. Comparando-se as fontes dentro de
378 cada dose de Se, a aplicação de selenito de sódio propiciou maiores valores de
379 germinação de sementes de feijão-caupi em comparação a aplicação de selenato de
380 sódio nas doses de 5 e 40 g ha⁻¹, porém, na maior dose de Se, o selenato de sódio
381 apresentou maiores valores de germinação sob baixas temperaturas.

382

383 **Tabela 5.** Desdobramento da interação significativa entre fontes e doses de Se para
 384 germinação de sementes de feijão-caupi provenientes dos testes de EA e TF.

Fonte	Doses (g ha ⁻¹)						Equação	R ²
	2,5	5,0	10	20	40	60		
EA (%)								
Selenato	44,0 a	49,5 a	74,5 a	27,5 a	51,0 a	53,5 b	Sem ajuste	
Selenito	27,0 b	25,5 b	57,0 b	33,0 a	29,0 b	76,0 a	Sem ajuste	
TF (%)								
Selenato	1,0 a	5,0 b	6,5 a	5,5 a	17,5 b	26,5 a	$\hat{Y} = 0,82 + 0,42x$	0,95
Selenito	6,5 a	19,0 a	11,5 a	5,5 a	33,5 a	1,0 b	Sem ajuste	

385 Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de
 386 probabilidade.

387

388 Em condições de estresse, seja por calor e umidade, como no teste de
 389 envelhecimento acelerado, ou por frio, altas concentrações de Se no tecido podem
 390 exercer papel fisiológico como agente pró-oxidativo, aumentando as concentrações de
 391 H₂O₂ e, assim, estimular a atividade de enzimas antioxidativas durante o processo de
 392 germinação, como a superóxido dismutase (SOD) e ascorbato peroxidase
 393 (APX) (CAVERZAN et al., 2012). De acordo com Stewart et al. (1999), o Se pode
 394 catalisar reações de oxidação de grupos tiol, o que confere liberação de superóxido (O₂^{•-}
 395 ⁻), podendo levar as plantas apresentarem sintomas de estresse. Porém, em situação de
 396 estresse abiótico como altas e baixas temperaturas, a liberação de superóxidos podem
 397 catalisar o aumento de expressão de enzimas antioxidativas, regulando desordens
 398 metabólicas (VAN HOEWYK, 2013).

399 O Se também pode ter efeito positivo na germinação de sementes em condições
 400 de estresse pelo aumento da atividade do ciclo de glutathiona-ascorbato (JEZEK et al.,
 401 2011). Além disso, o Se tem a capacidade de aumentar os teores de antocianinas,
 402 flavonóides e compostos fenólicos de plântulas submetidas ao estresse pelo frio (CHU;
 403 YAO; ZHANG, 2010), sendo que estes compostos possuem a capacidade de eliminar
 404 radicais livres e inibir a peroxidação lipídica das plântulas. O papel protetor dos
 405 compostos fenólicos nas plantas é bem conhecido, e sua síntese é aumentada nos tecidos
 406 das plantas sob várias tensões bióticas e abióticas (KHALIQ et al., 2015). Estes mesmos
 407 autores afirmaram que os teores de compostos fenólicos em plântulas de arroz
 408 aumentaram sob altas concentrações de Se na solução de embebição das sementes antes
 409 da germinação.

410 Outra substância que pode atuar como sinalizadora/reguladora no caso de estresse
 411 é o aminoácido prolina, o qual pode promover aumento de resistência de plântulas a
 412 estresses abióticos (JAVADI; KHOMARI; SOFALIAN, 2015). Zhang et al. (2006)
 413 relataram que existe uma relação positiva entre o acúmulo de prolina e o acúmulo de
 414 radicais livres (espécies reativas de oxigênio - EROs) causados pelo estresse. Neste
 415 sentido, Javadi, Khomari; Sofalian (2015) demonstraram que o Se tem capacidade de
 416 aumentar a atividade da enzima prolina 5-carboxilase sintase, a qual atua como enzima
 417 chave na síntese de prolina e outro metabólitos secundários.

418 A CE da solução de embebição reduziu linearmente mediante acréscimo nas doses
 419 de Se quando utilizou-se o selenato de sódio como fonte deste elemento (Tabela 6). Para
 420 o selenito de sódio, não houve ajuste significativo para os modelos de regressão linear e
 421 quadrático. Quanto as fontes dentro de cada dose de Se, nas doses de 5 e 10 g ha⁻¹, o
 422 selenito de sódio proporcionou menor extravasamento de eletrólitos das semente para a
 423 solução de embebição, enquanto que para a maior dose de Se, a menor condutividade
 424 elétrica foi obtida quando aplicou-se o selenato de sódio como fonte de Se (Tabela 6).

425

426 **Tabela 6.** Desdobramento da interação significativa entre fontes e doses de Se para a
 427 variável CE ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) de sementes de feijão-caupi.

Fonte	Doses (g ha ⁻¹)						Equação	R ²
	2,5	5,0	10	20	40	60		
Selenato	184,7 a	191,1 a	184,8 a	172,1 a	166,4 a	157,1 b	$\hat{Y} = 188,6 - 0,55x$	0,92
Selenito	190,3 a	145,1 b	151,9 b	162,2 a	170,1 a	185,5 a	Sem ajuste	

428 Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de
 429 probabilidade.

430

431 Akbulut e Cakir (2010) afirmaram que tanto o selenato quanto o selenito podem
 432 proporcionar alterações nas membranas das plantas; portanto, o mesmo pode ser
 433 inferido no processo de organização das membranas durante a formação das sementes.
 434 Pesquisas realizadas com diferentes espécies têm mostrado que o aumento da liberação
 435 de solutos é diretamente proporcional ao decréscimo na germinação e no vigor de
 436 plântulas (Marcos Filho et al., 1990). De acordo com Vieira et al. (2002), a relação entre
 437 organização das membranas e condutividade elétrica da solução de embebição, permite
 438 relacionar o teste de vigor de plântulas com o teste de condutividade elétrica, sendo que
 439 maiores valores de condutividade denotam sementes menos vigorosas e os menores
 440 valores, os quais correspondem a menor liberação de exsudados, indicariam alto
 441 potencial fisiológico.

Os efeitos antioxidantes provenientes da aplicação de Se durante o cultivo do feijão-caupi pode ter favorecido a formação e integridade das membranas das sementes durante o período de enchimento de grãos, o que pode influenciar positivamente na redução de extravasamento de eletrólitos durante o processo de embebição das sementes. Qualquer variação ambiental, como curto estresse hídrico, alta temperatura e luminosidade, salinidade, entre outros, podem ocasionar acúmulo de EROs nos tecidos vegetais, influenciando negativamente em seu desenvolvimento como um todo ou em alguns órgãos específicos, como sementes em formação (DEUNER et al., 2011).

No desdobramento para MSPA de plântulas de feijão-caupi, não houve ajuste a modelo de regressão para as doses de Se independente da fonte utilizada. Já as doses de 2,5 e 40 g ha⁻¹ de Se quando utilizou-se o selenato, proporcionou maior acúmulo de massa seca em relação ao selenito, enquanto que na dose de 5 g ha⁻¹, o selenito de sódio proporcionou maior massa seca de parte aérea em comparação ao selenato (Tabela 7). O comportamento obtido para o desdobramento de fontes *versus* doses de Se para MSR foi semelhante o encontrado para MSPA de plântulas de feijão-caupi. Não houve ajustes aos modelos de regressão linear e quadrático para doses dentro de cada fonte de Se, enquanto que comparando-se as fontes dentro de cada dose, na menor dose de Se (2,5 g ha⁻¹) e na dose de 20 g ha⁻¹, os maiores valores de MS foram obtidos pelo uso do selenato de sódio e na dose de 5 (g ha⁻¹), o selenito de sódio apresentou maior acúmulo de massa seca radicular em comparação ao selenato de sódio.

462

Tabela 7. Desdobramento da interação significativa entre fontes e doses de Se para as variáveis MSPA e MSR de plântulas de feijão-caupi.

Fonte	Doses (g ha ⁻¹)						Equação	R ²
	2,5	5,0	10	20	40	60		
MSPA (mg plântula ⁻¹)								
Selenato	0,51 a	0,19 b	0,50 a	0,40 a	0,77 a	0,39 a	Sem ajuste	
Selenito	0,36 b	0,38 a	0,57 a	0,34 a	0,57 b	0,41 a	Sem ajuste	
MSR (mg plântula ⁻¹)								
Selenato	0,12 a	0,05 b	0,10 a	0,10 a	0,11 a	0,09 a	Sem ajuste	
Selenito	0,09 b	0,10 a	0,13 a	0,07 b	0,12 a	0,09 a	Sem ajuste	

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

467

Embora não haja evidência de envolvimento direto de Se na promoção de divisão de células vegetais, sabe-se que este elemento favorece o crescimento das plantas em concentrações mais baixas (GERM; STIBILJ, 2007). O selênio por meio de mudanças

470

471 nas atividades das enzimas antioxidantes pode afetar a germinação e processos
472 fisiológicos que promovem o crescimento e estabelecimento de plântulas. Devido o
473 aumento da atividade da glutationala-peroxidase e na ativação do ciclo de ascorbato-
474 glutationala pelo uso do Se, ocorre aumento da ciclagem do ascorbato (ASC) nas células
475 vegetais, atuando nas propriedades antioxidantes e indução do alongamento e divisão
476 celular (HOREMANS; FOYER; ASARD, 2000). Como antioxidante, o ascorbato
477 funciona como o principal composto (não enzimático) para a eliminação de EROs,
478 especialmente o H₂O₂ (HUNGHUNG; YU; LIN, 2005). Em relação ao seu papel no
479 desenvolvimento de vegetal, existem evidências de que o ASC tem potencial de alterar
480 o ciclo celular e estimular células quiescentes à divisão, além de acelerar a expansão e o
481 alongamento celular (HOREMANS; FOYER; ASARD, 2000), contribuindo para o
482 aumento do acúmulo de massa seca nas plântulas. O ascorbato é capaz de influenciar o
483 progresso do ciclo celular em plantas, sendo que o dehidroascorbato (DHA), sua forma
484 totalmente oxidada, ativa nesse processo (POTTERS et al., 2000).

485 Interações complexas entre Se e outros nutrientes podem ocorrer durante os
486 processos metabólicos das plantas, principalmente quando relacionados aos
487 micronutrientes (KABATA-PENDIAS, 2011). Em relação às fontes de Se, foi evidente
488 que o comportamento das mesmas são distintos nos processos metabólicos da planta
489 (AKBULUT; CAKIR, 2010). Os resultados desses bioensaios de sementes indicam que
490 vários fatores importantes precisam ser considerados para a suplementação agrícola com
491 selênio. Primeiro, embora o selênio não seja um elemento essencial para as plantas, em
492 baixas concentrações pode promover estímulo na germinação e crescimento de
493 plântulas, enquanto que em maiores teores, estes componentes podem ser inibidos
494 (CARVALHO et al., 2013). Segundo que seu uso pode reduzir efeitos de estresses
495 abióticos em plantas e na germinação de sementes. Vale salientar que se qualquer tipo
496 de estresse não for devidamente regulado, o excesso de EROs pode danificar
497 membranas fosfolipídicas, proteínas ou DNA, inibindo assim as vias de transdução de
498 sinal e, em geral, a função celular (VAN HOEWYK, 2013). O fornecimento de Se
499 durante o desenvolvimento da cultura pode favorecer menor interferência biótica e
500 abiótica nas plantas, não interferindo no desenvolvimento das sementes, contribuindo
501 para o aumento do seu potencial fisiológico.

502 A aplicação de Se, independente da fonte e da dose proporciona maiores médias
503 de germinação de sementes sob envelhecimento acelerado e teste de frio, além de maior
504 comprimento de parte aérea de plântulas de feijão-caupi. O selenato de sódio como

505 fonte de Se aumenta a qualidade fisiológica de sementes em comparação ao selenito de
506 sódio. A germinação de sementes após estresse pelo envelhecimento acelerado aumenta
507 pelo uso do selenato de sódio mesmo em maiores doses, enquanto que o selenito
508 proporciona resultados benéficos em doses menores. O selenato de sódio aumenta
509 linearmente a germinação de sementes após o teste de frio e reduz linearmente o
510 extravasamento de eletrólitos de sementes com o aumento na dose de Se. Não foi
511 possível estabelecer dose ótima de Se, independente da fonte utilizada para a maioria
512 das análises de qualidade fisiológica de sementes, sendo necessários mais estudos sobre
513 aplicação de Se na cultura do feijão-caupi e seus efeitos na qualidade de sementes.

514

515 CONCLUSÕES

516

517 A aplicação de selênio via foliar foi benéfica à qualidade das sementes de feijão-
518 caupi.

519 Plantas tratadas com selenato de sódio via foliar proporcionaram sementes mais
520 vigorosas comparadas ao selenito de sódio.

521 Não foi possível estipular dose ideal de selênio na cultura, sendo necessário mais
522 estudos.

523

524 REFERÊNCIAS

525

526 AKBULUT, M.; ÇAKIR, S. The effects of Se phytotoxicity on the antioxidant systems
527 of leaf tissues in barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. **Plant physiology and**
528 **biochemistry**, Amsterdam, v. 48, n. 2-3, p. 160-166, 2010.

529

530 BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de**
531 **sementes**. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária SNDA/DNDV/ CLAV,
532 Brasília, 2009, 365 p.

533

534 CARVALHO, K. M. et al. Effects of selenium supplementation on four
535 agricultural crops. **Journal of agricultural and food chemistry**, Munich, v. 51,
536 n. 3, p. 704-709, 2003.

537

538 CAVERZAN, A. et al. Plant responses to stresses: role of ascorbate peroxidase in the
539 antioxidant protection. **Genetics and molecular biology**, Ribeirão Preto, v. 35, n. 4, p.
540 1011-1019, 2012.

541

542 CHU, J.; X. YAO; Z. ZHANG. Responses of wheat seedlings to exogenous
543 selenium supply under cold stress. **Biological trace element research**, Clifton, v.
544 136, n. 3, p. 355-363, 2010.

- 545
546 DENG, X. et al. Difference of selenium uptake and distribution in the plant and
547 selenium form in the grains of rice with foliar spray of selenite or selenate at different
548 stages. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 211, n. 3, p. 165-171, 2017.
- 549
550 DEUNER, C. et al. Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de
551 feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina,
552 v. 33, n. 4, p. 711-720, 2011.
- 553
554 EKANAYAKE, L. J. et al. Selenium fertilization on lentil (*Lens culinaris* Medikus)
555 grain yield, seed selenium concentration, and antioxidant activity. **Field Crops**
556 **Research**, Amsterdam, v. 177, n. 3, p. 9-14, 2015.
- 557
558 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro
559 Nacional de Pesquisa dos Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de
560 Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 2013. 353 p.
- 561
562 FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Crops. Cowpeas, dry**.
563 Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/index.html#DOWNLOAD>. Acesso em: 29
564 out. 2018.
- 565
566 FREITAS, A. D. S.; SILVA, A. F.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Yield and biological
567 nitrogen fixation of cowpea varieties in the semi-arid region of Brazil. **Biomass and**
568 **Bioenergy**, Amsterdam, v. 45, n. 1, p. 109-114, 2012.
- 569
570 GERM, M.; STIBILJ, V. Selenium and plants. **Acta Agriculturae Slovenica**,
571 Ljubljana, v. 89, n. 1, p. 65-71, 2007.
- 572
573 GUPTA, M.; GUPTA, S. An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in
574 plants. **Frontiers in plant science**, Melbourne, v. 7, p. 2074, 2017.
- 575
576 HASANUZZAMAN, M.; HOSSAIN, M.; FUJITA, M. Selenium in higher plants:
577 physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. **Journal of**
578 **Plant Sciences**, New York, v. 5, n. 4, p. 354-375, 2010.
- 579
580 HOREMANS, N. et al. Ascorbate function and associated transport systems in
581 plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, New Delhi, v. 38, n. 2, p. 531–540, 2000.
- 582
583 HOREMANS, N.; FOYER, C. H.; ASARD, H. Transport and action of ascorbate at the
584 plant plasma membrane. **Trends in plant science**, Oxford, v. 5, n. 6, p. 263-267, 2000.
- 585
586 HUNG, S.; YU, C.; LIN, C. H. Hydrogen peroxide functions as a stress signal in
587 plants. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, Taipei, v. 46, n. 1, p. 1-10, 2005.
- 588
589 JAVADI, A.; KHOMARI, S.; SOFALIAN, O. Seed vigor and boron and calcium
590 nutrition influence oilseed rape germinability and seedling growth under salt stress.
591 **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 39, n. 12, p.1688-1696, 2015.
- 592

- 593 JEZEK, P. et al. Effect of foliar application of selenium on the content of selected
594 amino acids in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). **Plant, Soil and Environment**,
595 Praga, v.57, p.315–320, 2011.
- 596
- 597 KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4.ed. Boca Raton: CRC
598 Press/Taylor & Francis Group, 2011. 548p.
- 599
- 600 KHALIQ, A. et al. Seed priming with selenium: consequences for emergence, seedling
601 growth, and biochemical attributes of rice. **Biological trace element research**, Clifton,
602 v. 166, n. 2, p. 236-244, 2015.
- 603
- 604 LI, H.; MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. Selenium uptake, translocation and speciation in
605 wheat supplied with selenate or selenite. **Cambridge**, v. 178, n. 1, p. 92-102, 2008.
- 606
- 607 LIMA, L. W.; PILON-SMITS, E. A.; SCHIAVON, M. Mechanisms of selenium
608 hyperaccumulation in plants: A survey of molecular, biochemical and ecological
609 cues. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1862, n. 11, p. 2343-2353, 2018.
- 610
- 611 MARCOS FILHO, J. et al. Estudo comparativo de métodos para a avaliação da
612 qualidade fisiológica de sementes de soja, com ênfase ao teste de condutividade
613 elétrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 12, p. 1805-1815, 1990.
- 614
- 615 MARCOS FILHO, J. **Testes de vigor: importância e utilização**. Vigor de sementes:
616 conceitos e testes. Londrina: ABRATES, v. 1, p. 1-21, 1999.
- 617
- 618 MENDONÇA E. A. F.; RAMOS N. P.; FESSEL S. A. Adequação da metodologia do
619 teste de deterioração controlada para sementes de brócolis (*Brassica oleracea* L. - var.
620 Itálica). **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 18-24, 2003.
- 621
- 622 PORTUGAL, J. R.; PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F. Aspectos climáticos no
623 feijoeiro. In: ARF O.; LEMOS L. B.; SORATTO R. P.; FERRARI S. (Eds.) **Aspectos**
624 **gerais da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Botucatu: FEPAF, 2015. p.65-75.
- 625
- 626 POTTERS, G. et al. Ascorbate and dehydroascorbate influence cell cycle progression in
627 a tobacco cell suspension. **Plant Physiology**, Washington, v. 124, n. 1, p. 17-20, 2000.
- 628
- 629 RAIJ, B. Van; ANDRADE J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise**
630 **química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto
631 Agrônômico, 2001.
- 632
- 633 RIBEIRO, V. Q. Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Embrapa**
634 **Meio-Norte-Sistema de Produção (INFOTECA-E)**, 2002. 108 p.
- 635
- 636 RODRIGUES, A. P. M. et al. Teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica
637 de sementes de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza,
638 v. 46, n. 3, p. 638-644, 2015.
- 639
- 640 SAJEDI, N. Effect of hydropriming and priming with different concentration of
641 selenium on yield and yield components of wheat. **Iranian Journal of Field Crops**
642 **Research**, Teerã, v.13, n.1, p.203-210, 2015.

- 643
644 SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 11.ed. Washington, USDA-Natural
645 Resources Conservation Service, 2010. 338p.
646
- 647 SORS, T. G.; MARTIN, C. P.; SALT, D. E. Characterization of selenocysteine
648 methyltransferases from *Astragalus* species with contrasting selenium accumulation
649 capacity. **The Plant Journal**, Nova Jersey, v. 59, n. 1, p. 110-122, 2009.
650
- 651 STEWART, M. S. et al. Selenium compounds have disparate abilities to impose
652 oxidative stress and induce apoptosis. **Free Radical Biology and Medicine**,
653 Amsterdam, v. 26, n. 1-2, p. 42-48, 1999.
654
- 655 VAN HOEWYK, D. A tale of two toxicities: malformed selenoproteins and oxidative
656 stress both contribute to selenium stress in plants. **Annals of botany**, Oxford, v. 112, n.
657 6, p. 965-972, 2013.
658
- 659 VIEIRA, R. D. et al. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de
660 soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1333-1338, 2002.
661
- 662 WAMALWA, E. N.; MUOMA, J.; WEKESA, C. Genetic Diversity of Cowpea (*Vigna*
663 *unguiculata* (L.) Walp.) Accession in Kenya Gene Bank Based on Simple Sequence
664 Repeat Markers. **International Journal of Genomics**, Cairo, v. 2016, p. 1-5, 2016.
665
- 666 WHITE, P. J. Selenium accumulation by plants. **Annals of botany**, Oxford, v. 117, n. 2,
667 p. 217-235, 2016.
668
- 669 YUN, X.; ZIJIAN, W.; PENG, A.W. Effect of selenium and fulvic acid on seed
670 germination of wheat and its physiological properties. **Chinese Journal of Applied**
671 **Ecology**, Beijing, v. 8, n. 4, p. 439-444, 1997.
672
- 673 ZHANG, J. et al. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt
674 stresses. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.97, n. 4, p.111-119, 2006.