



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JESSICA SUELLEN SILVA TEIXEIRA

**SELÊNIO COMO MITIGADOR DO ESTRESSE INDUZIDO POR CÁDMIO EM
MILHO (*Zea mays* L.)**

BELÉM
2020

JESSICA SUELLEN SILVA TEIXEIRA

**SELÊNIO COMO AMENIZADOR DO ESTRESSE INDUZIDO POR CÁDMIO EM
MILHO (*Zea mays* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como exigência do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção de título de Mestre.

Área de concentração: Fertilidade do solo, adubação e nutrição de plantas.

Orientador: Dr. Ricardo Shigueru Okumura

**BELÉM
2020**

JESSICA SUELLEN SILVA TEIXEIRA

**SELÊNIO COMO AMENIZADOR DO ESTRESSE INDUZIDO POR CÁDMIO EM
MILHO (*Zea mays* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção de título de Mestre. Área de concentração: Fertilidade do solo, adubação e nutrição de plantas.

Data da Aprovação

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Dr. Ricardo Shigueru Okumura – Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia**

**Dr. Waldemar Viana de Andrade Júnior - 1º Examinador
Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade**

**Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto - 2º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia**

**Prof. Dr. Glauco André dos Santos Nogueira - 3º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia**

Dedico aos meu pais, Jardel Roge Gomes Teixeira e Leila Cristina dos Santos Silva Teixeira e as minha irmãs Bárbara Teixeira e Keila Teixeira, por serem meu alicerce e sempre acreditarem em mim.

Ao meu namorado, Alyson Carvalho Cardoso, por todo carinho, compreensão e amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, por me proteger e me iluminar sempre.

Aos meus familiares, meus pais, avós, tios e irmãs pelo apoio e incentivo incondicional, pelo carinho, pela compreensão e por não medirem esforços para me ajudarem a alcançar os meus objetivos.

A minha irmã Keila Beatriz Silva Teixeira, pela ajuda durante na condução do experimento.

Ao meu namorado, melhor amigo e companheiro de todas as horas, Alyson Carvalho Cardoso, por toda paciência, apoio, carinho, amor, compreensão, confiança e pela ajuda durante a realização deste trabalho.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, por ter me recebido e me proporcionado dias de aprendizagem.

Ao Cnpq, pelo incentivo por meio da bolsa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade.

Ao meu orientador o Prof. Dr. Ricardo Shigueru Okumura, pelo de aprendizado e orientação.

Aos meus amigos do Grupo de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores, Diana Souza, Andressa Paiva, Ana Ecídia, Luciana Sousa, Evelyn, Gabriel Monteiro, Gerson Pamplona, Juscelino Palheta, que de maneira direta ou indireta me ajudaram e me apoiaram, fazendo dos meus dias melhores.

A todos que de direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O cádmio (Cd) é um dos metais pesados mais tóxicos que ocorre no meio ambiente, é facilmente absorvido pelas plantas, mesmo em baixas concentrações é capaz de provocar o comprometimento da fotossíntese e a inibição do crescimento. Dentre as alternativas para solucionar os problemas induzidos pela contaminação com Cd está o uso de atenuadores como o selênio (Se) que é considerado um elemento benéfico para as plantas, podendo aumentar sua tolerância aos diversos estresses bióticos e abióticos. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito do Se sobre a germinação e o desempenho inicial de milho em condições de estresse por cádmio. Foram utilizadas sementes de milho híbrido (K9606 VIP 3) tratadas com Se nas concentrações de 0,0; 1,5; 3,0 e 5,0 mg.L⁻¹ na forma de Na₂O₃Se e submetidas dosagens de cádmio (0,0; 1,3; 3,0 e 4,5 mg.L⁻¹) na forma de CdCl₂. Foram avaliados: a germinação (%); o tempo médio de germinação (*TMG*); o coeficiente de velocidade de germinação (*CVG*); o índice de velocidade de germinação (*IVG*); o comprimento da raiz (*CR*); o comprimento da parte aérea (*CPA*); a massa seca da raiz (*MSR*) e a massa seca da parte aérea (*MSPA*). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 4, com quatro repetições. O aumento das concentrações de Cd reduziu o *IVG*, o *CP*; o *CPA*, a *MSR*. Em geral, o pré-tratamento com Se antes da exposição ao Cd promoveu aumento no crescimento das raízes, crescimento das plântulas, na produção de massa seca da raiz com mitigação acentuada da inibição do crescimento induzido pelo cádmio, principalmente, na dose de 5 mg.L⁻¹ de Se.

Palavra-chave: Germinação, crescimento, atenuação, metais pesados.

ABSTRACT

Cadmium (Cd) is one of the most toxic heavy metals that occurs in the environment, it is easily absorbed by plants, even at low concentrations it is able to cause the impairment of photosynthesis and inhibition of growth. Among the alternatives to solve the problems induced by Cd contamination is the use of attenuators such as selenium (Se), which is considered a beneficial element for plants, which can increase their tolerance to various biotic and abiotic stresses. The aim of the study was to evaluate the effect of Se on germination and initial performance of corn under conditions of cadmium stress. Using hybrid maize seeds (K9606 VIP 3) treated with selenium at concentrations of 0.0; 1.5; 3.0 and 5.0 mg.L⁻¹ of Se in form of Na₂O₃Se, and subjected to different cadmium dosages (0.0; 1.3; 3.0 and 4.5 mg.L⁻¹) in form of CdCl₂. The following were evaluated: germination (%); the average germination time (GMT); the germination speed coefficient (CVG); the germination speed index (IVG); the length of the root; the length of the seedling; root dry mass (MSR) and shoot dry mass (MSPA). The experimental design was completely randomized in a 4 x 4 factorial scheme, with four replications, consisting of 25 subsamples each. The presence of Cd reduced germination speed index (IVG), root growth, seedling growth and root dry mass with increasing concentrations. In general, pretreatment with Se prior to exposure to Cd promoted increased root growth, seedling growth and root dry mass production and marked mitigation of cadmium-induced growth inhibition, especially at the dose 5 mg.L⁻¹ of Se.

Keyword: Germination, growth, attenuation, heavy metals.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Efeito do selênio no índice de velocidade de germinação (IVG) em plântulas de milho sob toxidez de cádmio.26
- Figura 2** – Selênio como mitigador do efeito deletério do cádmio no crescimento da raiz (A), no crescimento da plântula (B) de milho.27
- Figura 3** - Selênio como atenuador da massa seca da raiz (MSR) em plântulas de milho submetidas ao estresse por cádmio.29

SUMÁRIO

1.CONTEXTUALIZAÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
1.1.1. Objetivo geral	11
1.1.2. Objetivos específicos	11
1.2 Revisão de literatura	11
1.2.1. Descrição e importância da espécie	11
1.2.2. Cádmio	12
1.2.3. Selênio	14
REFERÊNCIAS	15
2. SELÊNIO COMO ATENUADOR DO ESTRESSE POR CÁDMIO EM PLÂNTULAS DE MILHO	20
2.1. Introdução	20
2.2. Metodologia	21
2.2.1. Características agronômicas	21
2.2.2. Tratamento das sementes	22
2.2.3. Teste de germinação	22
2.2.4. Velocidade de germinação	22
2.2.5. Comprimento da plântula	24
2.2.6. Massa Seca da Plântula	24
2.2.7. Delineamento experimental e análise estatística	24
2.3. Resultados e discussão	25
REFERÊNCIAS	30

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A contaminação dos solos agrícolas por metais pesados tornou-se uma grave questão ambiental em todo o mundo nas últimas décadas e atualmente tem se tornado a mais séria ameaça de impacto ambiental que vem crescendo com ritmo inevitável (LIU et al. 2014).

Dentre os metais, o cádmio (Cd) é geralmente considerado como um dos poluentes agrícolas mais difundidos e prejudiciais, consistindo em um dos metais pesados mais tóxicos que ocorre no meio ambiente (CLEMENS et al., 2013). O Cd é facilmente absorvido pelas plantas, mesmo em baixas concentrações é capaz de provocar o comprometimento da fotossíntese, inibição do crescimento e da absorção de nutrientes e diminuição da biomassa seca das plantas (HE et al. 2011; ANDOSCH et al., 2012; LIU et al. 2013).

A translocação de Cd em partes comestíveis das plantas é uma das principais fontes de exposição em seres humanos e animais, por não ser um nutriente essencial para organismos vivos a ingestão prolongada deste elemento pode causar doenças crônicas por toxicidade em seres humanos (KUBO et al. 2016).

Nesse sentido, necessita-se de desenvolvimento de estratégias que resultem em menor absorção do Cd presentes no solo pelas plantas, otimizando assim, o uso dos recursos naturais e a produção de alimentos seguros.

Dentre as alternativas buscadas para solucionar os problemas induzidos pela contaminação por Cd está o uso de atenuadores, ou seja, elementos até então tidos como benéficos, que quando utilizados em baixas concentrações podem aliviar os efeitos danosos deste metal. Desta forma, o selênio (Se) vêm sendo utilizados por pesquisadores, devido seu reconhecido benefício para o crescimento de algumas plantas, podendo em baixas concentrações aumentar a tolerância destas ao estresse (FENG, et al. 2013; PROIETTI et al. 2013; HAWRYLAK-NOWAK, 2013; YAO et al., 2013).

O milho (*Zea mays* L.) é um produto fundamental para a agricultura brasileira, sendo cultivado em todas as regiões, é uma das culturas mais importantes para a economia do país, constituindo-se como a segunda cultura com maior produção de grãos no território nacional e com grande participação nas exportações (CONAB, 2019).

Diferentes trabalhos avaliaram o papel do Se no comportamento das plantas quando expostas ao estresse por Cd; entretanto, a maioria se concentrou na avaliação das plantas após o desenvolvimento inicial, ou seja, quando já estavam estabelecidas. Havendo desta forma, a necessidade de compreender se o Se consegue mitigar os efeitos deletérios provocados pelo estresse por Cd na germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas de milho.

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito do Se sobre a germinação e o desempenho inicial de milho em condições de estresse por Cd.

1.1.2. Objetivos específicos

Analisar o efeito do Se sobre a velocidade de germinação, por meio do tempo médio de germinação, coeficiente de germinação e do índice de velocidade de germinação, de sementes de milho submetidas a diferentes dosagens de Cd.

Verificar a capacidade do Se em amenizar os efeitos tóxicos do Cd sobre o crescimento (comprimento e biomassa) em plântulas de milho sob estresse por cádmio.

1.2 Revisão de literatura

1.2.1. Descrição e importância da espécie

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família Poaceae (também conhecida como Gramineae), tem origem mexicana e americana, com os primeiros registros datando entre 7 a 10 mil anos, sendo encontrado em pequenas ilhas próximas ao litoral mexicano, teve origem do Teosinte (*Zea mexicana* L.), uma gramínea anual originária do México e da Guatemala. De acordo com Guimarães (2007) ele é considerado uma

das plantas cultivadas mais antiga e mais estudada, possuindo caracterização genética mais detalhada dentre as espécies cultivadas.

Apresenta grande adaptabilidade, sendo produzido em quase todos os continentes, desde o Equador até ao limite das terras temperadas, encontrando-se, assim, em climas tropicais, subtropicais e temperados, consistindo na terceira maior produção mundial de grãos, pendendo apenas para o trigo e o arroz (SILVA, 2013).

Sua importância econômica é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, tanto no aspecto de segurança alimentar, na alimentação humana e, principalmente, animal, devido suas elevadas qualidades nutricionais, quanto a possibilidade de ser utilizado em uma infinidade de produtos, tais como combustíveis, bebidas, polímeros, produção de filmes e embalagens biodegradáveis (PAES, 2006; MIRANDA, 2018). Por apresentar grande versatilidade, pode ser consumido in natura ou como principal matéria prima de vários pratos culinários, como cuscuz, polenta, angu, bolos, canjicas, mingaus, cremes, dentre outros.

Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho ficando atrás somente dos Estados Unidos e da China (USDA, 2019). A produção de milho no Brasil ocorre em diferentes épocas, devido, principalmente, às diferentes condições climáticas das regiões. O cultivo de verão, também denominado primeira safra, ocorre predominante na maioria das regiões produtoras, com exceção das regiões Norte e Nordeste, em que, pela época de maior concentração de chuvas ser a partir do mês de janeiro, o período de semeadura é denominado segunda safra ou safrinha, sendo este período representado por cerca de 70% da produção total de milho (CONAB, 2019).

1.2.2. Cádmio

Nas últimas décadas, principalmente como consequência de atividades antrópicas, o aumento da concentração de metais pesados no solo, na água e no ar, tem prejudicado não apenas às plantas, mas a todos os organismos vivos (MOŹDZIERZ et al., 2014). No Brasil, os problemas relacionados com o aumento da concentração de metais pesados nos solos têm relação com as atividades agrícolas e industriais (KAVAMURA; ESPOSITO, 2010).

Os metais pesados causam alterações metabólicas nas plantas, induzindo vários efeitos bioquímicos diferentes levando à perda da homeostase celular e até mesmo à morte de plantas (OVES et al., 2016).

O Cd é um poluente traço tóxico para humanos, animais e plantas, e, por apresentar alta mobilidade nos solos é facilmente absorvido pelas raízes e transportado para outras partes da planta, sendo tóxico para as células vivas mesmo em concentrações muito baixas (TEMPLETON; LIU, 2010; GALLEGO et al., 2012; LI et al., 2017).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA, em sua resolução 420 determina como prevenção que a concentração máxima de Cd no solo não seja superior a $1,3 \text{ mg.kg}^{-1}$ de massa seca e para áreas agrícolas, como critério de investigação, o valor máximo permitido é de 3 mg.kg^{-1} de massa seca de solo (BRASIL, 2009).

A translocação de Cd em partes comestíveis das plantas é uma das principais fontes de exposição de Cd em seres humanos e animais, e por não ser um nutriente essencial para organismos vivos a ingestão prolongada de Cd pode causar doenças crônicas por toxicidade em seres humanos (KUBO et al. 2016).

Uma das principais evidências do efeito deletério do Cd foi evidenciada pela doença de *itai-itai* em moradores da região do rio Jinzu na Província de Toyama, Japão, por volta dos anos 1950, essa doença é a forma mais severa de intoxicação crônica por Cd causada por ingestão prolongada deste metal (INABA et al., 2005).

O Cd é continuamente adicionado ao solo por várias fontes naturais, estando presente normalmente em baixas concentrações no ambiente, entretanto, devido, principalmente, as atividades antropogênicas, sua concentração aumentou na atmosfera e se tornou um contaminante de águas superficiais e subterrâneas, solo e alimentos (WHO, 2010).

O Cd é liberado na metalúrgica, instalações de incineração de resíduos, tráfego, fábrica de cimento, mineração, queima de carvão, irrigação de águas residuais, baterias níquel-cádmio, aplicação de pesticidas, lodo de esgoto, fertilizantes fosfatados, resultando em uma ampla poluição do solo agrícola (LIAO et al., 2005; KHAN et al., 2015; AHMAD et al. 2015a; LI et al. 2017).

Os sintomas de sua toxicidade são devidos a uma variedade de interações no nível celular, podendo inibir a absorção de nutrientes essenciais para as plantas e o

desenvolvimento delas (HALL, 2002; NAZAR et al., 2012). Plantas afetadas pelo Cd apresentam comprometimento da fotossíntese, inibição do crescimento e da absorção de nutrientes, diminuição da biomassa seca, clorose e atrofia foliar, podendo causar ainda, o enrolamento das folhas e desequilíbrio hídrico (HE et al. 2011; ANDOSCH et al., 2012; LIU et al. 2013).

1.2.3. Selênio

O Selênio (Se) pertence à classe dos calcogênios e encontra-se na crosta terrestre geralmente associado as partículas de argila. Os níveis médios de Se nos solos do mundo são estimados em $0,44 \text{ mg kg}^{-1}$, podendo variar de acordo com o tipo de solo e regiões (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). São conhecidos quatro estados de oxidação do Se, como selênio elementar (Se_0), seleneto (Se_2), selenito (SeO_3^{2-}), selenato (SeO_4^{2-}) e em formas orgânicas (levedura selenizada). As formas mais encontradas no ambiente são o selenito e selenato. As proporções das formas de Se na solução do solo são governadas por diferentes propriedades físico-químicas, incluindo potencial de oxidação, pH e processos biológicos (KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007; JEŽEK et al., 2012).

Nos organismos vivos, o Se desempenha um papel no equilíbrio hormonal e antioxidante, bem como é componente das selenotRNAs e vários seleno-aminoácidos, como SeMet (seleno-metionina), SeCys (selenocisteína) e SeMSC (selênio-metil-seleno-sisteína) (OGASAWARA et al., 2001).

O Se é um oligoelemento requerido por ambos os seres humanos e animais. Apesar de não ser um nutriente essencial para as plantas é um elemento benéfico quando aplicado em dose adequada (FENG et al. 2013; SUN et al. 2016; TAMAOKI; MARUYAMA-NAKASHITA, 2017). Após sua absorção, o Se entra na cadeia alimentar, sendo então transferido à dieta humana através de produtos de origem animal e vegetal (RAYMAN, 2008).

Estudos demonstraram que o Se pode promover o aumento da tolerância das plantas ao estresse abiótico promovendo a diminuição dos danos causados por vários estresses como deficiência hídrica (HASANUZZAMAN; FUJITA, 2011; AHMAD et al., 2015b), metais pesados (KUMAR et al., 2012; GHORABA et al., 2015; PANDEY; GUPTA, 2015) como, por exemplo, Cd (FILEK, 2008) e frio (CHU et al. 2010), podendo

conferir diversos benefícios fisiológicos aos vegetais incluindo aumentos no crescimento (HARTIKAINEN et al., 2000).

Fertilizantes à base de Se têm sido utilizados para a biofortificação de algumas culturas, podem ser aplicados diretamente ao solo, via *spray* foliar ou *priming* em sementes (AHMAD et al., 2015b). Em sementes, o *priming* consiste na hidratação controlada capaz de promover atividades metabólicas antes mesmo da protusão da radícula (NAWAZ et al., 2013), podendo ser realizado a partir da imersão das sementes em soluções contendo compostos naturais e/ou sintéticos (JISHA et al., 2013). O *priming* em sementes caracteriza-se por ser fácil, prático e de baixo custo, sendo considerado um mecanismo promissor para o aumento dos níveis de Se, aumentando desta forma a resistência das plantas aos diversos tipos de estresse (AHMAD et al., 2015b).

REFERÊNCIAS

AHMAD, P.; SARWAT, M.; BHAT, N. A.; WANI, M. R.; KAZI, A. G.; TRAN, L. S. Alleviation of cadmium toxicity in *Brassica juncea* L. (Czern. & Coss.) by calcium application involves various physiological and biochemical strategies. **PLoS One**, v. 10(1). 2015a.

AHMAD, R.; WARAICH, E. A.; NAWAZ, F.; ASHRAF, M. Y.; KHALID, M. Selenium (Se) improves drought tolerance in crop plants– a myth or fact?. **Journal of the science of food and agriculture**, 96: 372-380. 2015b.

ANDOSCH, A.; AFFENZELLER, M. J.; LÜTZ, C.; LÜTZ-MEINDL, U. A freshwater green alga under cadmium stress: ameliorating calcium effects on ultrastructure and photosynthesis in the unicellular model *Micrasterias*. **J Plant Physiol**, v. 169, p. 1489–1500. 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução no 420, de 28 de dezembro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**: Brasília, DF, n. 249, p. 81-84, 2009. Seção 1.

CHU, J. Z.; YAO, X. Q.; ZHANG, Z. N. Responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under cold stress. **Biol Trace Elem Res**, v. 136, p. 355–363. 2010.

CLEMENS, S., AARTS, M. G. M., THOMINE, S., VERBRUGGEN, N. Plant science: the key to preventing slow cadmium poisoning. **Trends in Plant Science**, v. 18(2), p. 92-99. 2013.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos** | v. 7 - Safra 2019/20, n.1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-47, outubro, 2019.

FENG, R. W.; WEI, C. Y.; TU, S. X.; DING, Y. Z.; SONG, Z. G. A dual role of Se on Cd toxicity: evidences from the uptake of Cd and some essential elements and the growth responses in paddy rice. **Biol Trace Elem Res**, v. 151, p. 113–121. 2013.

FILEK, M. et al. The protective role of selenium in rape seedlings subjected to cadmium stress. **Journal of Plant Physiology**, v.165, n. 1, p.833-844, 2008.

FILEK, M. et al. Effect of selenium on characteristics of rape chloroplasts modified by cadmium. **Journal of Plant Physiology**, v.167, n. 5, p.28-33, 2010.

GALLEGO, S. M.; PENA, L. B.; BARCIA, R. A.; AZPILICUETA, C. E.; IANNONE, M. F.; ROSALES, E.P.; et al. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. **Environ Exp Bot**, v. 83, p. 33–46. 2012.

GHORABA, W. F.; MOHSEN, A. A. Role of selenium on *Vicia faba* seedlings subjected to mercury and cadmium Stress. **Integrated Journal of British**, 2:16-44. 2015.

GUIMARÃES, P. S. **Desempenho de híbridos simples de milho (*Zea mays* L.) e correlação entre heterose e divergência genética entre as linhagens parentais**. 2007. 132f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas-SP, 2007.

HALL, J. L. Cellular mechanisms of heavy metal detoxification and tolerance. **J Exp Bot**, v. 53, p. 1–11. 2002.

HARTIKAINEN, H.; XUE, T.; PIIRONEN, V. Selenium as an antioxidant and pro-oxidant in ryegrass. **Plant Soil**, v. 225, p. 193–200. 2000.

HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M. Selenium pretreatment upregulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings. **Biological Trace Element Research**, v. 143, p. 1758–1776. 2011.

HAWRYLAK-NOWAK, B. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. **Plant Growth Regulation**, v.70, n. 7, p.149-157. 2013.

HE, J. L.; QIN, J. J.; LONG, L. Y.; MA, Y. L.; LI, H.; LI, K.; JIANG, X. N.; LIU, T. X.; POLLE, A.; LIANG, Z. S.; LUO, Z. B. Net cadmium flux and accumulation reveal tissue-specific oxidative stress and detoxification in *Populus x canescens*. **Physiol Plant**, v. 143, p. 50–63. 2011.

INABA, T.; KOBAYASHI, E.; SUWAZONO, Y.; UETANI, M.; OISHI, M.; NAKAGAWA, H.; NOGAWA, K. Estimation of cumulative cadmium intake causing Itai-itai disease. **Toxicol Lett**, v. 159(2), p. 192-201. 2005.

JEŽEK, P. et al. Selenium an important antioxidant in crops biofortification. *In: EL-MISSIRY, M. A. (Ed.). Antioxidant enzyme*, Rijeka: INTECH, v. 13, n. 5, p. 343-369, 2012.

JISHA, K. C.; VIJAYAKUMARI, K.; PUTHUR, J. T. Seed priming for abiotic stress tolerance: Na overview. **Acta Physiology Plantarum**, v. 35, p. 1381–1396. 2013.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. CRC, Boca Ranton, FL, 2001.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. Trace elements from soil to human. New York: **Springer Science**, p.550, 2007.

KAVAMURA, V. N.; ESPOSITO, E. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals. **Biotechnology advances**, v. 28, n. 1, p. 61-69, 2010.

KHAN, A.; KHAN, S.; KHAN, M. A.; QAMAR, Z.; WAQAS, M. The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22(18), p. 13772-13799. 2015

KUBO, K.; KOBAYASHI, H.; FUJITA, M.; OTA, T.; MINAMIYAMA, Y.; WATANABE, Y.; NAKAJIMA, T.; SHINANO, T. Varietal differences in the absorption and partitioning of cadmium in common wheat (*Triticum aestivum* L). **Environ Exp Bot.** v. 124, p. 79–88. 2016.

KUMAR, M.; BIJO, A. J.; BAGHEL, R. S.; REDDY, C. R. K.; JHA, B. Selenium and spermine alleviates cadmium induced toxicity in the red seaweed *Gracilaria dura* by regulating antioxidant system and DNA methylation. **Plant Physiol Biochem**, v. 51, p. 129–138. 2012.

LI, H.; LUO, N.; LI, Y. W.; CAI, Q. Y.; LI, H. Y.; MO, C. H.; WONG, M. H. Cadmium in rice: transport mechanisms, influencing factors, and minimizing measures. **Environ Pollut**, v. 224, p. 622–630. 2017.

LIAO, X. Y.; CHEN, T. B.; XIE, H.; LIU, Y. R. Soil As contamination and its risk assessment in areas near the industrial districts of Chenzhou City, Southern China. **Environ Int**, v. 31(6), p. 791-798. 2005.

LIN, L.; ZHOU, W.; DAI, H.; CAO, F.; ZHANG, G.; WU, F. Selenium reduces cadmium uptake and mitigates cadmium toxicity in rice. **J Hazard Mater**, v. 235, p. 343–351. 2012.

LIU, H., HUSSAIN, S., PENG, S., HUANG, J., CUI, K., NIE, L. Potentially toxic elements concentration in milled rice differ among various planting patterns. **Field Crop Res.** v. 168, p.19–26. 2014.

LIU, Y.; BARBER, D. S.; ZHANG, P.; LIU, B. Complex II of the mitochondrial respiratory chain is the key mediator of divalent manganese-induced hydrogen peroxide production in microglia. **Toxicol Sci**, v. 132, p. 298–306. 2013.

MIRANDA, R. A. de. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, v. 74, n. 829, p. 24-27, jan. 2018.

MOŹDZIERZ, A.; JUSZKO-PIEKUT, M.; STOJKO, J. Cadmium contamination of atmospheric air in the Silesian cities. **Environmental Medicine**. v. 17(1), p. 25-33. 2014.

NAWAZ, F.; ASHRAF, M. Y.; AHMAD, R.; WARAICH, E. A. Selenium (Se) seed priming induced growth and biochemical changes in wheat under water deficit conditions. **Biological Trace Elements Research**, v. 151, p. 284–293. 2013.

NAZAR, R.; IQBAL, N.; MASOOD, A.; KHAN, M. I. R.; SYEED, S.; KHAN, N. A. Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. **American Journal of Plant Sciences**, v. 3(10), p. 1476-1489. 2012.

OGASAWARA, Y.; LACOURCIERE, G.; STADTMAN, T. C. Formation of a selenium-substituted rhodanese by reaction with selenite and glutathione: Possible role of a protein perselenide in a selenium delivery system. **Biochemistry**, v. 98, n. 17, p. 9494–9498. 2001.

OVES, M.; KHAN, M. K.; QARI, A. H.; FELEMBAN, M. N.; ALMEELBI, T. Heavy metals: biological importance and detoxification strategies. **Journal of Bioremediation and Biodegradation**. v.7(2), p. 1-15. 2016.

PAES, M. C. D. **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. Sete Lagoas, MG, 2006. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica 75)

PANDEY, C.; GUPTA, M. Selenium and auxin mitigates arsenic stress in rice (*Oryza sativa* L.) by combining the role of stress indicators, modulators and genotoxicity assay. **Journal of Hazardous Materials**, v. 287, p. 384–391. 2015.

PROIETTI, P.; NASINI, L.; DEL BUONO, D.; D'AMATO, R.; TEDESCHINI, E.; BUSINELLI, D. Selenium protects olive (*Olea europaea* L.) from drought stress. **Sci Horticulture-Amsterdam**, v. 164, p. 165–171. 2013.

RAYMAN, M. P. Food-chain selenium and human health: emphasis on intake. **British Journal of Nutrition**. p. 254–268. 2008.

SILVA, G. F. **Adubação nitrogenada e fosfatada para produção de milho verde e de grãos na Chapada do Apodi-RN**. 121f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2013.

SUN, H. Y.; DAI, H. X.; WANG, X. Y.; WANG, G. H. Physiological and proteomic analysis of selenium-mediated tolerance to Cd stress in cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Ecotoxicol Environ Saf**, v. 133, p. 114–126. 2016.

TAMAOKI, M.; MARUYAMA-NAKASHITA, A. Molecular mechanisms of selenium responses and resistance in plants. *In: **Selenium in plants***. Springer International Publishing, p. 35–51. 2017.

TEMPLETON, D. M.; LIU, Y. Multiple roles of cadmium in cell death and survival. **ChemBiol Interact**, p. 188:267–75. 2010.

USDA. United States Department of Agriculture. **Grain: world markets and trade**. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/grain-world-markets-and-trade>>. Acesso em: 29 out. 2019.

WHO. Preventing disease through healthy environments. *In: **Exposure to cadmium: A major public health concern***. Geneva, Switzerland: International Programme On Chemical Safety. 2010.

YAO, X. et al. Effects of selenium on agronomical characters of winter wheat exposed to enhanced ultraviolet-B. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.92, n. 9, p.320–326. 2013.

2. SELÊNIO COMO ATENUADOR DO ESTRESSE POR CÁDMIO EM PLÂNTULAS DE MILHO

2.1. Introdução

O incremento de metais pesados no ambiente tem ocorrido nas últimas décadas principalmente como consequência de atividades antrópicas, tem sido motivo de grande preocupação mundial, especialmente por não serem biodegradáveis, se acumulam no solo, água, ar e na cadeia trófica (MOŹDZIERZ et al., 2014).

O cádmio (Cd), dentre os metais, tem se apresentado como um poluente traço tóxico para humanos, animais e plantas, devido sua alta mobilidade nos solos, sendo facilmente absorvido pelas raízes e transportado para outras partes da planta, resultando em toxicidade mesmo em concentrações muito baixas (TEMPLETON; LIU, 2010; GALLEGO et al., 2012; LI et al., 2017).

Os solos de ambientes agrícolas podem apresentar acúmulo de Cd, devido à aplicação de fertilizantes fosfatados, adubos, resíduos de indústrias metalúrgicas e águas residuais não tratadas (AHMAD et al., 2015). Após a exposição ao Cd, as plantas quando afetadas apresentam inibição do crescimento e da absorção de nutrientes, provocando diminuição da biomassa seca, clorose e atrofia foliar (LIU et al. 2013, AHMAD et al. 2015; LI et al. 2017).

Desta forma, têm-se procurado alternativas para a produção em solos com alta concentração de Cd, buscando-se diminuir os efeitos deletérios deste metal nas culturas, dentre estas estratégias encontra-se a utilização de atenuadores e o selênio (Se) vêm sendo empregado devido seu reconhecimento como elemento benéfico para o crescimento de algumas plantas, podendo aumentar a tolerância destas ao estresse.

Evidências demonstram que o tratamento de sementes, com uso de soluções contendo Se, parece também uma abordagem eficaz para melhorar a tolerância de plantas a diversos estresses ambientais, entre eles o de Cd (NAWAZ et al., 2013).

Estudos demonstram que a aplicação exógena de Se tem sido promissor no aumento da tolerância das plantas ao estresse abiótico devido a diminuição dos danos causados por metais pesados (FENG et al. 2013; GHORABA et al., 2015; PANDEY; GUPTA, 2015) como, por exemplo, cádmio (FILEK, 2008), podendo conferir diversos benefícios fisiológicos aos vegetais incluindo aumentos no crescimento (HARTIKAINEN et al., 2000).

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura que vem sendo produzida em todas as regiões, sua importância econômica é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, na segurança alimentar, humana e, principalmente, animal, devido suas elevadas qualidades nutricionais (MIRANDA, 2018). Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho ficando atrás somente dos Estados Unidos e da China (USDA, 2019).

Nesse sentido, necessita-se de desenvolvimento de estratégias que resultem em menor absorção do Cd presentes no solo pelas plantas diminuindo os efeitos tóxicos deste metal, e otimizando assim, o uso dos recursos naturais e a produção de alimentos seguros, principalmente quando se trata do milho, uma cultura mundialmente consumida.

Diante do exposto, o objetivo foi avaliar o efeito do selênio, no tratamento de sementes, sobre a germinação e o desempenho inicial de plântulas de milho, em condições de estresse por cádmio.

2.2. Metodologia

O experimento foi conduzido no Laboratório de Estudos de Plantas Superiores (EBPS) do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), sendo utilizadas sementes de milho híbrido (K 9606 VIP 3) da empresa KWS sementes (KWS SAAT SE & Co. KGaA).

2.2.1. Características agronômicas

O milho híbrido (K 9606 VIP 3) apresenta alta estabilidade produtiva, alto rendimento, boa amplitude de plantio, devido sua arquitetura semiereta, ciclo precoce de 820 GD (graus-dias), a altura da planta varia entre 225-240 cm, a inserção da espiga ocorrendo entre 125-135 cm de altura, com 16 a 18 número de fileiras de grãos, a cor do grão é alaranjada, são semiduros com o sabugo branco (KWS, 2019).

2.2.2. Tratamento das sementes

As sementes foram embebidas em solução de selenito de sódio ($\text{Na}_2\text{O}_3\text{Se}$) nas concentrações de 1,5; 3,0 e 5,0 mg.L^{-1} de Se por um período de 6h a 25 ± 2 °C. Para o tratamento controle as sementes foram colocadas para embeber em água destilada por 6h na mesma temperatura.

2.2.3. Teste de germinação

No teste de germinação, foram utilizados papel germitest umedecidos com cloreto de cádmio (CdCl_2) nas concentrações de 1,3; 3,0 e 4,5 mg.L^{-1} de Cd e com água destilada na quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco (BRASIL, 2009). Para cada tratamento utilizou-se 100 sementes, divididas em quatro repetições com 25 subamostras, as quais foram distribuídas sobre duas folhas de papel germitest, as sementes foram posicionadas com a extremidade da radícula (hilo) para a parte inferior do papel, sendo, em seguida organizadas em forma de rolo.

Os rolos foram acondicionados em sacos plásticos, transparentes, de 0,04 mm de espessura, com a finalidade de evitar a perda de água por evaporação.

O teste de germinação foi conduzido em laboratório de germinação com regime de temperatura de 25 ± 2 °C, com fotoperíodo de oito horas. As contagens das sementes germinadas foram realizadas diariamente do 4^o até o 7^o dia após o início do teste, cujo critério de germinação adotado foi aquele proposto por Brasil (2009), com formação de plântulas com estruturas essenciais normais (raiz primária, coleóptilo e plúmula), sendo a germinação expressa em porcentagem (%).

2.2.4. Velocidade de germinação

A avaliação foi realizada juntamente com o teste de germinação, sendo realizadas contagens diárias das plântulas normais, do 4^o até o 7^o dia, à mesma hora, a partir da primeira contagem, conforme descrito por Brasil (2009).

Segundo Silva & Nakagawa (1995), as fórmulas utilizadas para este teste são as seguintes:

2.2.4.1. Tempo médio de germinação

Para se calcular o tempo médio de germinação (TMG) foi empregada a fórmula de Edmond & Drapala (1958):

$$\mathbf{TMG} = \frac{G_1T_1 + G_2T_2 + \dots + G_iT_i}{G_1 + G_2 + \dots + G_i}$$

Onde:

TMG = tempo médio necessário para atingir a germinação máxima (dias);

G₁, G₂, ... , G_i = número de plântulas normais germinadas a cada dia;

T₁, T₂, ... , T_i = número de dias decorridos da semeadura a primeira, segunda e última contagem;

2.2.4.2. Coeficiente de velocidade de germinação

Fórmula utilizada foi a proposta por Kotowski, em 1926, sendo este o inverso da média ponderada do tempo necessário para a germinação, tendo como fator de ponderação a germinação diária.

$$\mathbf{CVG} = \frac{G_1 + G_2 + \dots + G_i}{G_1T_1 + G_2T_2 + \dots + G_iT_i} \times 100$$

Onde:

CVG = coeficiente de velocidade de germinação;

G₁, G₂, ... , G_i = número de plântulas normais germinadas a cada dia;

T₁, T₂, ... , T_i = número de dias decorridos da semeadura a primeira, segunda e última contagem;

2.2.4.3. Índice de velocidade de germinação

Foi calculado empregando-se a fórmula proposta por Maguire (1962):

$$\mathbf{IVG} = \frac{G1}{T1} + \frac{G2}{T2} + \dots + \frac{Gi}{Ti}$$

Onde:

IVG = índice velocidade de germinação;

G1, G2, ... , Gi = número de plântulas normais germinadas a cada dia;

T1, T2, ..., Ti = número de dias decorridos da semeadura a primeira, segunda e última contagem;

2.2.5. Comprimento da plântula

O comprimento de plântulas foi avaliado segundo procedimento descrito por NAKAGAWA (1999), realizando-se a medição de toda a plântula, partindo do meristema apical até a extremidade da raiz primária, enquanto o comprimento de raiz foi obtido medindo-se desde a base do hipocótilo até a extremidade da raiz primária. Para tanto, utilizaram-se, em cada tratamento, quatro repetições de 10 sementes, cujas medições foram efetuadas no sétimo dia após a semeadura, com auxílio de uma régua milimetrada, sendo os resultados expressos em cm.plântula⁻¹.

2.2.6. Massa Seca da Plântula

Para obtenção do peso da matéria seca as plântulas normais foram retiradas do substrato e seus cotilédones, restante de sementes e/ou qualquer tipo de reserva foram removidos, obtendo-se apenas as plântulas, posteriormente, separadas em raiz e parte aérea e acondicionadas em sacos de papel de massa conhecida e colocadas em estufa de ventilação forçada a 65°C até obtenção da massa constante, logo após, foram colocadas para resfriar em dessecador e pesadas em uma balança de precisão de 0,0001g, para determinação da massa seca da raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA), sendo expressas em gramas.

2.2.7. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4 x 4, com quatro repetições, com os fatores compreendendo níveis de selênio (0

(controle); 1,5; 3,0 e 5,0 mg.L⁻¹ de Na₂O₃Se) e cádmio (0 (controle); 1,3; 3,0 e 4,5 mg.L⁻¹ de CdCl₂). Os dados foram analisados, utilizando o software STATISTICA 12.0 (STATSOFT, 2014) e a equação de regressão adotada foi o modelo $y(x_1, x_2) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_2 + b_4x_2^2 + b_5x_1 * x_2$. Os dados foram submetidos ao teste F e a análise de regressão polinomial (superfície de resposta) foi realizada quando a interação entre os fatores se apresentou significativa (p < 0,05).

2.3. Resultados e discussão

As variáveis porcentagem de germinação, TMG e CVG não responderam ao modelo quadrático, não ocorrendo, desta forma, interação entre as doses de Se e Cd e não foram afetadas significativamente pelas dosagens de Cd, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Efeito da variação conjunta entre selênio e cádmio na germinação (%); tempo médio de germinação (TMG) e coeficiente de velocidade de germinação (CVG) de plântulas de milho.

Causas de variação	Quadrado médio		
	Germinação (%)	TMG Dias	CVG (%)
Cádmio	35.34 ^{ns}	1.12 ^{ns}	0.02 ^{ns}
Selênio	31.73 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.01 ^{ns}
Cádmio x Selênio	23.43 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.01 ^{ns}
Resíduo	24.91	0.42	0.02
Média	90.56	4.47	22.42
CV (%)	19.8	3.1	0.5

CV: Coeficiente de variação; ^{ns} Não significativo a nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

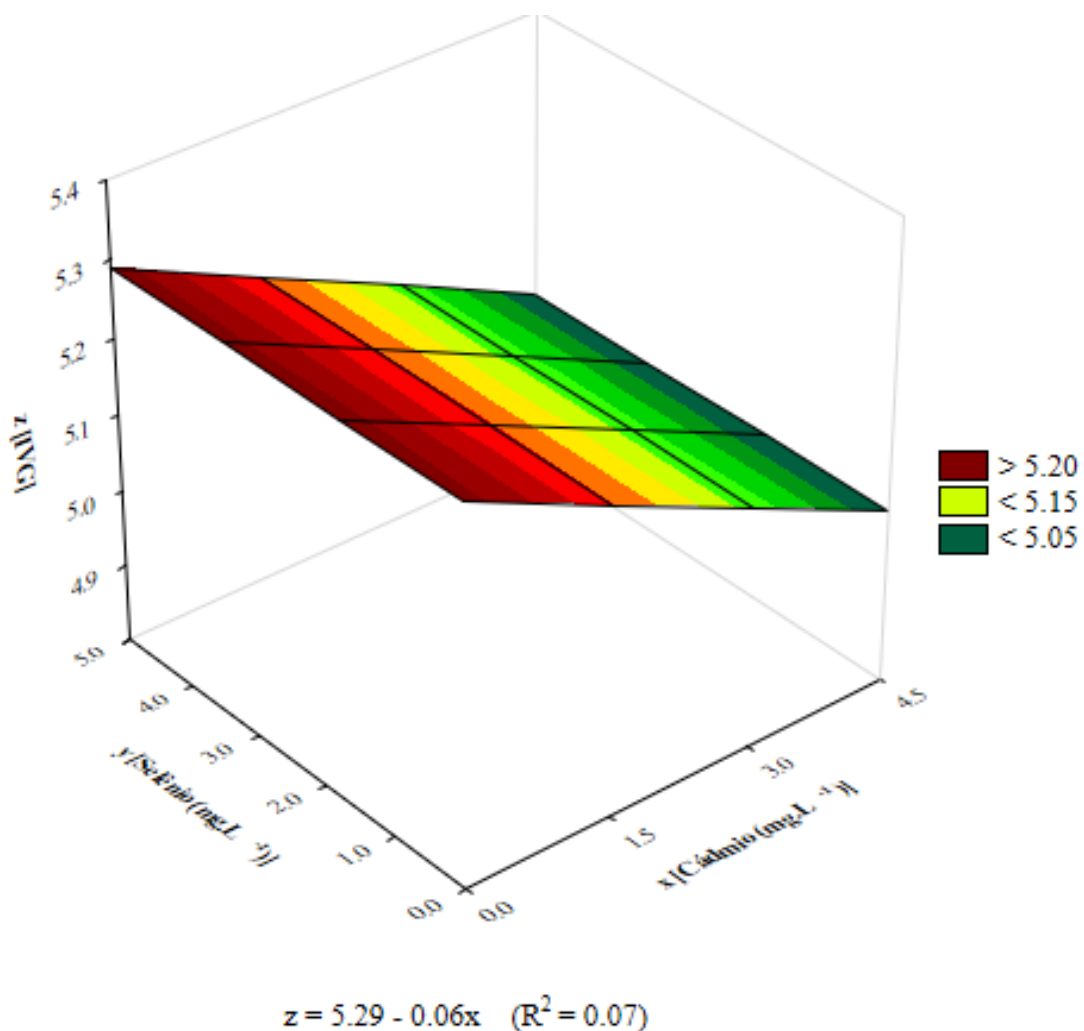
Fonte: A autora (2019).

Resultados semelhantes na porcentagem de germinação foram encontrados por Pernia et al. (2007) para as culturas de *Phaseolus vulgaris* y *Zea mays* e por Benavides et al. (2018) para a cultura de *Laguncularia racemosa* var. glabriflora expostas as concentrações de Cd, sendo demonstrado por este autores que a

germinação é um parâmetro pouco sensível, não sendo considerado um bom indicador de toxicidade de Cd.

Para a variável de IVG, houve diferença significativa entre os tratamentos, entretanto não houve interação entre as doses de Se e Cd. Observou-se através das faixas de coloração que independentemente da adição ou não das doses de selênio houve uma tendência de redução do IVG com o aumento das doses de cádmio, sendo a dose de 4,5 mg.L⁻¹ de Cd (faixa verde escura) a que demonstrou maior efeito negativo em relação ao IVG (Figura 1).

Figura 1 – Efeito do selênio no índice de velocidade de germinação (IVG) em plântulas de milho sob toxidez de cádmio.



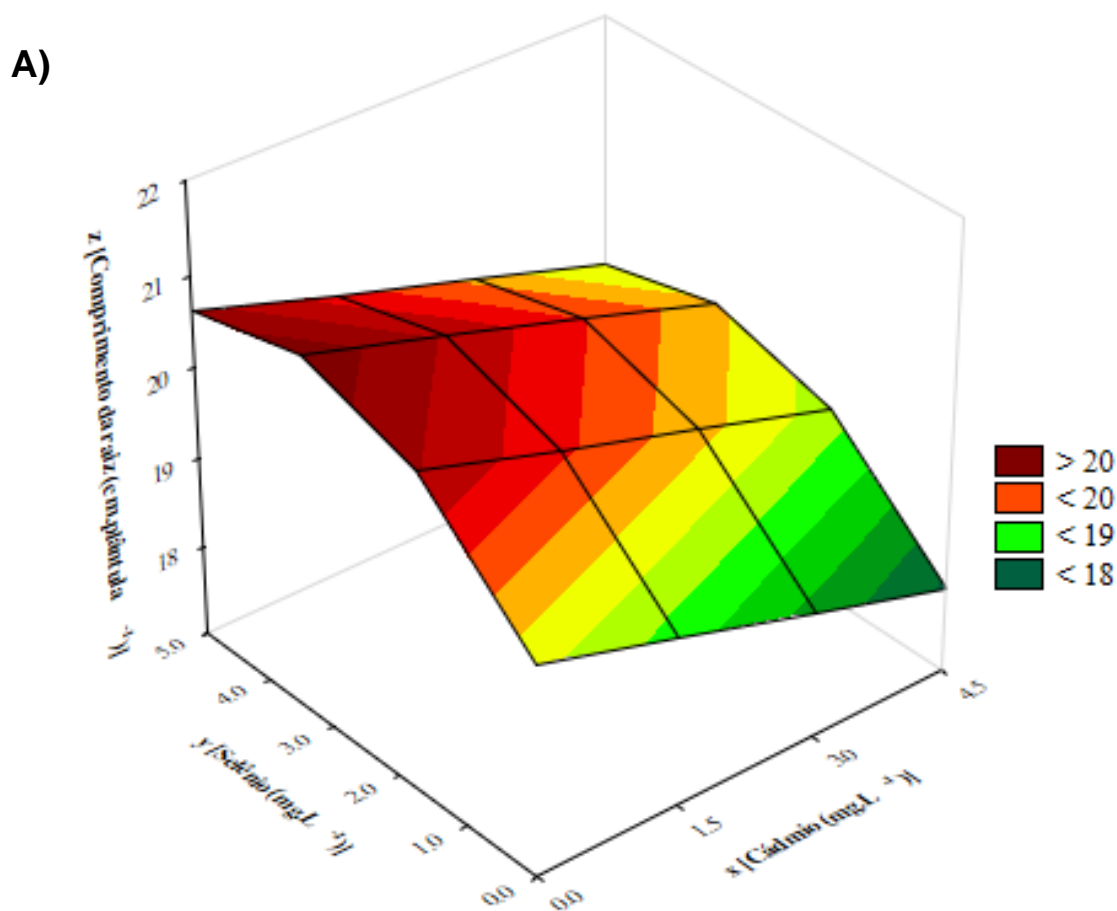
Fonte: A autora (2019)

Para as variáveis comprimento das raízes e comprimento de plântulas ocorreu interação dupla entre os fatores doses de selênio e doses de cádmio, ajustando-se ao modelo quadrático. Observou-se através da faixa vermelha escura (Figura 2), na dose

de 5,0 mg.L⁻¹ de Se e 1,5 mg.L⁻¹ de Cd, uma combinação favorável para o comprimento tanto da raízes (Figura 2A) quanto de plântulas (Figura 2B), que chegou a 20,7 cm e 25,3 cm, respectivamente.

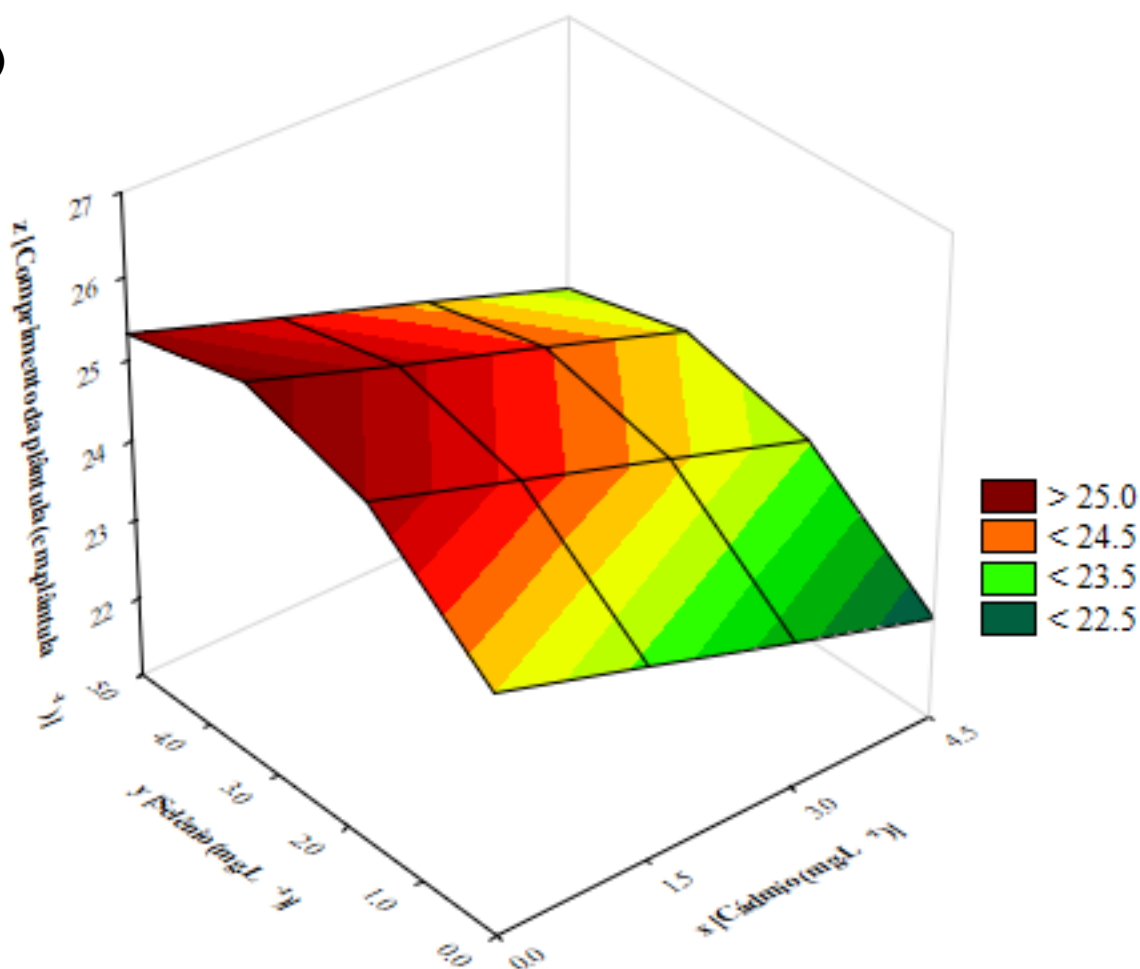
A aplicação do Se nas sementes promoveu o desenvolvimento das plântulas de milho, sendo que os tratamentos com Cd promoveram uma redução considerável, comparado com o controle. Entretanto, o tratamento contendo somente o Cd foi o que promoveu uma redução mais significativa, como é possível verificar, por meio da faixa de coloração verde escura, chegando a 17,95 cm e 22,36 cm, no comprimento da raiz e de plântula, respectivamente. Nos tratamentos contendo Se + Cd houve uma atenuação significativa dos efeitos tóxicos do Cd, uma vez que as plantas apresentaram comprimento de raízes maiores que no tratamento onde somente o Cd estava presente no meio de crescimento.

Figura 2 – Selênio como mitigador do efeito deletério do cádmio no crescimento da raiz (A), no crescimento da plântula (B) de milho.



$$z = 19.34 - 0.31x + 0.93y - 0.14y^2 \quad (R^2 = 0.51)$$

B)



$$z = 24.00 - 0.39x + 0.99y - 0.15y^2 \quad (R^2 = 0.50)$$

Fonte: A autora (2019)

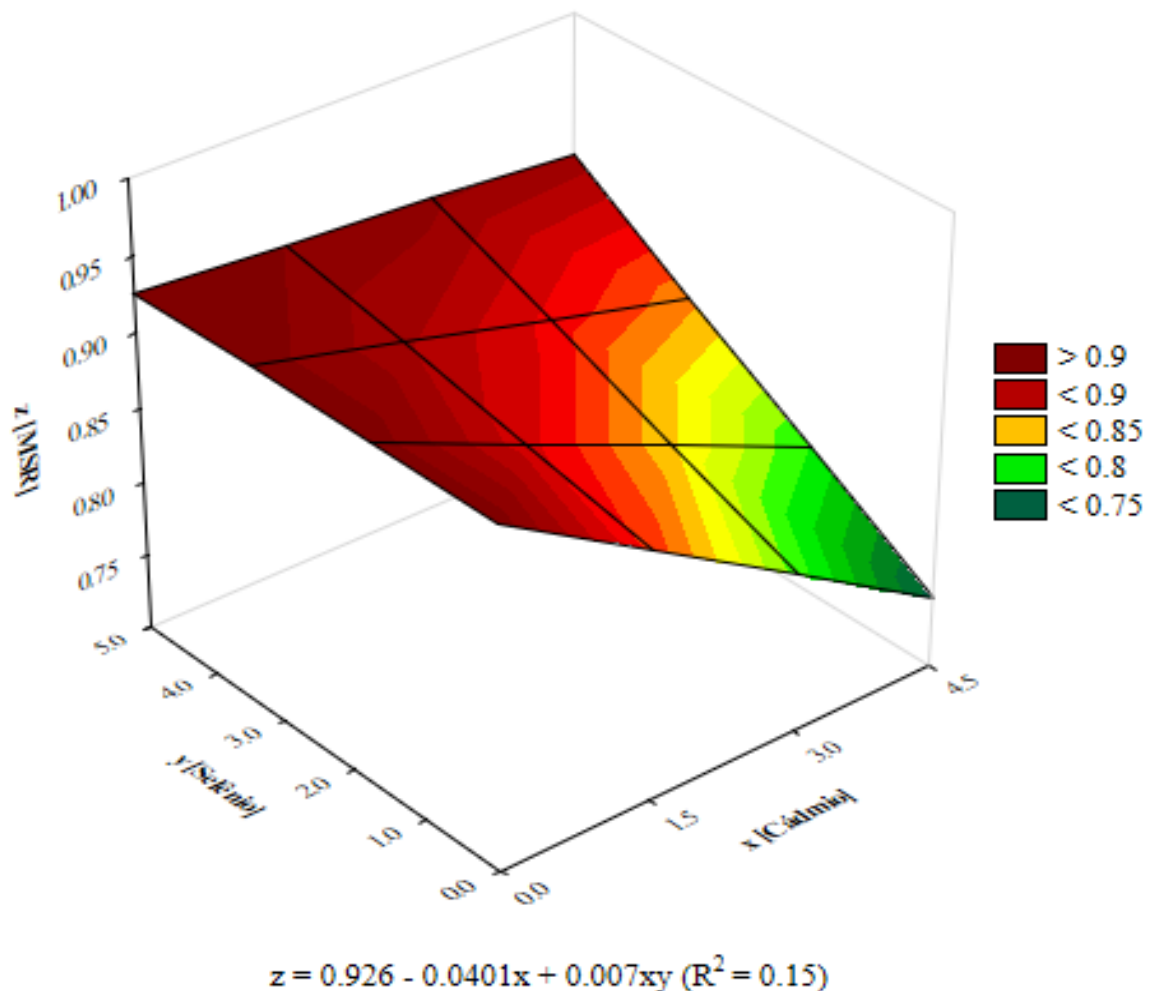
A inibição do crescimento é uma resposta bem conhecida das plantas a concentrações tóxicas de metais pesados. Onde a captação de Cd pelas plantas restringe o crescimento, reduzindo o pigmento de clorofila e consequentemente a produção de biomassa (HASHIM et al. 2016). Rizwan et al. (2016) constatou em plantas de trigo que a toxicidade do Cd diminuiu o crescimento e a biomassa das plantas e Hussain et al. (2012) em plantas de milho também relataram resultados semelhantes, indicando que o estresse ocasionado pelo Cd inibe a formação das raízes laterais e diminui o comprimento de raízes.

Não houve interação entre os fatores doses de Se e doses de Cd para a variável massa seca da parte aérea, durante o período de experimento não foram afetadas

significativamente pelas dosagens de Cd. Entretanto, ocorreu interação dupla entre os fatores doses de Se e doses de Cd, ajustando-se ao modelo quadrático. Verificou-se por meio da faixa vermelha escura (Figura 3), na dose de 5,0 mg.L⁻¹ de Se e 1,5 mg.L⁻¹ de cádmio, uma combinação favorável para a acumulação de massa seca da raiz, chegando a 0,93 g.

Foi possível verificar que o tratamento das sementes com selênio proporcionou um maior acúmulo de biomassa seca nas plântulas de milho, possibilitando um efeito significativo na mitigação dos efeitos tóxicos do Cd, pois as plantas apresentaram biomassa seca da raiz maiores que no tratamento onde somente o Cd estava presente.

Figura 3 - Selênio como atenuador da massa seca da raiz (MSR) em plântulas de milho submetidas ao estresse por cádmio.



Fonte: A autora (2019)

Xu et al. (2014) relataram que o estresse com Cd inibe o crescimento do milho e danifica tecidos de cloroplasto, mas algumas características morfológicas como a

biomassa seca e os sintomas foliares pareciam ser insensíveis ao estresse de Cd, o que justifica a falta de interação do Cd com a massa seca da parte aérea, devido principalmente o primeiro órgão da planta a entrar em contato com o Cd ser a raiz, sofrendo desta forma, os efeitos mais drásticos deste elemento tóxico, como a inibição do crescimento e da massa seca da raiz encontrada neste trabalho, que se deve, principalmente, de acordo com Hassan; Mansoor, (2014) à acumulação de cádmio neste órgão.

2.1. Conclusão

O selênio atenua os efeitos tóxicos do cádmio sobre os parâmetros biométricos em plântulas de milho, podendo aumentar a capacidade de defesa dessas plantas contra esse estresse, onde o pré-tratamento com Se antes da exposição ao Cd promoveu aumento no crescimento das plântulas e na produção de biomassa seca da raiz, havendo mitigação acentuada da inibição do crescimento induzido pelo cádmio, principalmente, na dose de 5mg.L⁻¹ de Se.

REFERÊNCIAS

AHMAD, P.; SARWAT, M.; BHAT, N. A.; WANI, M. R.; KAZI, A. G.; TRAN, L. S. Alleviation of cadmium toxicity in *Brassica juncea* L. (Czern. & Coss.) by calcium application involves various physiological and biochemical strategies. **PLoS One**, v. 10(1). 2015a.

BENAVIDES, A.; PEZO, D. P.; PERNIA, B.; MERO, M.; CORNEJO, X.; MAGALLANES, I.; ROMERO, B., ZAMBRANO, J. Efecto del cadmio sobre la germinación y crecimiento de *Laguncularia racemosa* var. *glabriflora* (Plantae-Combretaceae). **Ecovida**, v. 8, n. 1. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.

EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society Horticultural Science**, Alexandria, n. 71, p. 428-434, 1958.

FENG, R. W.; WEI, C. Y.; TU, S. X.; DING, Y. Z.; SONG, Z. G. A dual role of Se on Cd toxicity: evidences from the uptake of Cd and some essential elements and the growth responses in paddy rice. **Biol Trace Elem Res**, v. 151, p. 113–121. 2013.

FILEK, M. et al. Effect of selenium on characteristics of rape chloroplasts modified by cadmium. **Journal of Plant Physiology**, v.167, n. 5, p.28-33, 2010.

GALLEGO, S. M.; PENA, L. B.; BARCIA, R. A.; AZPILICUETA, C. E.; IANNONE, M. F.; ROSALES, E.P.; et al. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. **Environ Exp Bot**, v. 83, p. 33–46. 2012.

GHORABA, W. F.; MOHSEN, A. A. Role of selenium on *Vicia faba* seedlings subjected to mercury and cadmium stress. **Integrated Journal of British**, 2:16-44. 2015.

HARTIKAINEN, H.; XUE, T.; PIIRONEN, V. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. **Plant Soil**, v. 225, p. 193–200. 2000.

HASHEM, A.; ABD_ALLAH, E.F.; ALQARAWI, A. A.; EGAMBERDIEVA, D. Bioremediation of adverse impact of cadmium toxicity on *Cassia italica* Mill by arbuscular mycorrhizal fungi. **Saudi J Bio Sci**. v. 23, p. 39–47. 2016.

HASSAN, M.; MANSOOR, S. Oxidative stress and antioxidant defense mechanism in mung bean seedlings after lead and cadmium treatments. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.38, n. 6, p.55-61, 2014.

HUSSAIN, I.; IQBAL, M.; QURAT-UL-AIN, S.; RASHEED, R.; MAHMOOD, S.; PERVEEN, A.; WAHID, A. Cadmium dose and exposure-time dependent alterations in growth and physiology of maize (*Zea mays*). **Int J Agri Biol**. v. 14, p. 959–964. 2012.

KOTOWSKI, F. Temperature relations to germination of vegetable seeds. **Proc. Amer. Hort. Sci.**, 23-1 76, 1926.

KWS. Ficha de Produto K9606 VIP3. Disponível em: <https://mediamaster.kws.com/01_Products/BR_Brazil/Productsheets/Mais/k9606_vip3.pdf>. Acessado em: 19/12/2019.

LI, H.; LUO, N.; LI, Y. W.; CAI, Q. Y.; LI, H. Y.; MO, C. H.; WONG, M. H. Cadmium in rice: transport mechanisms, influencing factors, and minimizing measures. **Environ Pollut**, v. 224, p. 622–630. 2017.

LIU, Y.; BARBER, D. S.; ZHANG, P.; LIU, B. Complex II of the mitochondrial respiratory chain is the key mediator of divalent manganese-induced hydrogen peroxide production in microglia. **Toxicol Sci**, v. 132, p. 298–306. 2013.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination and in selection and evaluation for seedlings emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.2, p.176-177. 1962.

MOŹDZIERZ, A.; JUSZKO-PIEKUT, M.; STOJKO, J. Cadmium contamination of atmospheric air in the Silesian cities. **Environmental Medicine**. v. 17(1), p. 25-33. 2014.

MIRANDA, R. A. de. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, v. 74, n. 829, p. 24-27, jan. 2018.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação de plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p.2:1- 2:21. 1999.

NAWAZ, F.; ASHRAF, M. Y.; AHMAD, R.; WARAICH, E. A. Selenium (Se) seed priming induced growth and biochemical changes in wheat under water deficit conditions. **Biological Trace Elements Research**, v. 151, p. 284–293. 2013.

PANDEY, C.; GUPTA, M. Selenium and auxin mitigates arsenic stress in rice (*Oryza sativa* L.) by combining the role of stress indicators, modulators and genotoxicity assay. **Journal of Hazardous Materials**, v. 287, p. 384–391. 2015.

PERNÍA, B.; RAIMÚNDEZ, E.; & CASTRILLO, M. Resultados preliminares del efecto de la contaminación por cadmio en la germinación de algunas especies de plantas de cultivo en Venezuela. In: **XVII Congreso Venezolano de Botánica**. Maracaibo, Venezuela. 2017.

RIZWAN, M.; MEUNIER, J. D.; HÉLÈNE, M.; KELLER, C. Effect of silicon on reducing cadmium toxicity in durum wheat (*Triticum turgidum* L. cv. Claudio W.) grown in a soil with aged contamination. **J Hazard Mater**. p. 209-210:326–334. 2012.

STATSOFT, I. **Statistica (Data Analysis Software System), Version 10 (Tulsa, Oklahoma, USA, StatSoft Inc.)**. 2014.

TEMPLETON, D. M.; LIU, Y. Multiple roles of cadmium in cell death and survival. **ChemBiol Interact**, p. 188:267–75. 2010.

USDA. United States Department of Agriculture. **Grain: world markets and trade**. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/grain-world-markets-and-trade>>. Acesso em: 29 out. 2019.

Xu, X., Liu, C., Zhao, X., Li, R., Deng, W. Involvement of an antioxidante defense system in the adaptive response to cadmium in maize seedlings (*Zea mays* L.). **Bull Environ Contam Toxicol**. v.93, p. 618–624. 2014.