

**UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**APLICAÇÃO DE SELÊNIO PARA BIOFORTIFICAÇÃO DE GRÃOS**  
**DE MILHO E EFEITO RESIDUAL NA SOJA**

**MARCOS VINICIUS PEREIRA VIEIRA**

*Magister Scientiae*

**RIO VERDE**  
**GOIÁS – BRASIL**

**2022**

**MARCOS VINICIUS PEREIRA VIEIRA**

**APLICAÇÃO DE SELÊNIO PARA BIOFORTIFICAÇÃO DE GRÃOS DE MILHO E  
EFEITO RESIDUAL NA SOJA**

**Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para à obtenção do título de *Magister Scientiae*.**

**RIO VERDE  
GOIÁS - BRASIL  
2022**

MARCOS VINICIUS PEREIRA VIEIRA

APLICAÇÃO DE SELÊNIO PARA BIOFORTIFICAÇÃO DE GRÃOS DE MILHO E  
EFEITO RESIDUAL NA SOJA

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVAÇÃO: 23 de junho de 2022

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª. Dra. June Faria Scherrer Mejezes  
Presidente da Banca Examinadora  
Membro – FA/UniRV

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Gustavo André Simon  
Membro - FA/UniRV

  
\_\_\_\_\_  
Prof.ª. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão  
Membro - FA/UniRV

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rafael Marques Pereira Leal  
Membro - IF Goiano - Rio Verde

Universidade de Rio Verde  
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira  
Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

V716a      Vieira, Marcos Vinicius Pereira

Aplicação de selênio para biofortificação de grãos de milho e efeito residual na soja. / Marcos Vinicius Pereira Vieira. – 2022.  
37 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. June Faria Scherrer Menezes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Rio Verde - UniRV,  
Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2022.

Inclui índice de tabelas e figuras.

1. Adubação foliar. 2. Tratamento de sementes. 3. Selenato de sódio.  
I. Menezes, June Faria Scherrer. II. Título.

CDD: 631.8

## **DEDICATÓRIA**

Em primeiro lugar a Deus, que me proporcionou: sabedoria, saúde e forças para a conclusão do curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UniRV.

Sou grato por todas as bênçãos de Deus neste período.

Aos meus pais: Marcos Ires Rodrigues Vieira e Raquel de Sousa Pereira Vieira, pelo apoio e incentivo, por nunca me deixar desistir deste sonho, pois não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

A minha esposa Scarlet Ohara Camilo Barreto Vieira, pelo companheirismo e apoio de sempre.

A minha orientadora June Faria Scherrer Menezes, pela paciência ao me orientar e incentivo desde a graduação, tornando possível a conclusão deste trabalho.

## **AGRADECIMENTO**

Aos meus pais e a minha esposa, que proveram a realização deste sonho. Obrigado pelo apoio durante a realização do curso e do mestrado! Sou eternamente grato a vocês!

A minha orientadora professora Dra. June Faria Scherrer Menezes, por me conceder: apoio, amizade, compreensão e conhecimentos, que contribuíram para a execução deste trabalho, foram anos maravilhosos trabalhando ao seu lado, com muita aprendizagem e companheirismo.

Ao proprietário da fazenda Rio Doce, por conceder o local para a condução do experimento e todo suporte com maquinários, insumos e mão de obra.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	V
RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Selênio no solo.....	2
2.2 Selênio na planta.....	3
2.3 Biofortificação.....	5
3 HIPÓTESES.....	6
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	7
4.1 Características da área e delineamento experimental.....	7
4.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	8
4.3 Condução dos ensaios.....	8
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
5.1 Milho safrinha.....	10
5.2 Cultura da soja efeito residual .....	16
6 CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS.....	22

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Precipitação pluvial mensal dos meses de fevereiro a julho de 2020 ocorridas próximo à área experimental, durante a condução do cultivo do milho. Rio Verde, GO.....	7
FIGURA 2	Teores de selênio nas folhas e nos grãos de milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020 em função da aplicação de selênio via foliar em V4 e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação.....	16

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Resultados da análise físico-química da área experimental antes da implantação do ensaio. Rio Verde, GO. 2020.....	9
TABELA 2	Resumo da análise de variância para os teores foliares de macronutrientes na cultura do milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020 em função da aplicação de Se via foliar em V4 e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação.....	10
TABELA 3	Teores foliares de nutrientes na cultura do milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020 em função da aplicação de Se via foliar em V4 e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação.....	11
TABELA 4	Resultados da análise estatística para as variáveis altura de plantas (ALT), índice SPAD (SPAD), produtividade de grãos (PROD) e massa de mil grãos (MMG) para a cultura do milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020 em função da aplicação de Se via foliar em V4 e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação.....	13
TABELA 5	Altura de plantas, índice SPAD, produtividade massa de mil grãos (MM grãos) do milho Vigora Galo VIP3 na safrinha 2020 em função das aplicações de selênio via foliar e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação.....	13
TABELA 6	Resultados da análise estatística para os teores de nutrientes nos grãos de milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020 em função da aplicação de selênio via foliar em V4 e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação.....	14
TABELA 7	Teores de nutrientes nos grãos de milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020 em função da aplicação de selênio via foliar em V4 e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação.....	15
TABELA 8	Resultados da análise estatística para os teores foliares de macronutrientes e de Se na cultura da soja (variedade FOCO IPRO) safra 2020/2021 em função do residual da aplicação de selênio via foliar e/ou tratamento de sementes no milho safrinha 2020.....	17

TABELA 9	Teores foliares de macronutrientes e de Se na cultura da soja (variedade FOCO IPRO) safra 2020/2021 em função do residual da aplicação de selênio via foliar e/ou tratamento de sementes no milho safrinha 2020.....	17
TABELA 10	Resultados da análise estatística para componentes de produtividade na cultura da soja (variedade FOCO IPRO) safra 2020/2021 em função do residual da aplicação de selênio via foliar e/ou tratamento de sementes no milho safrinha 2020.....	18
TABELA 11	Altura de plantas, índice SPAD, produtividade massa de mil grãos de soja (variedade FOCO IPRO) safra 2020/2021 em função da aplicação de Se via foliar e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação no milho safrinha 2020.....	19
TABELA 12	Resultados da análise estatística para os teores de macronutrientes e de Se nos grãos de soja (variedade FOCO IPRO) safra 2020/2021 em função da aplicação de Se via foliar e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação no milho safrinha 2020.....	20
TABELA 13	Teores de macronutrientes e de Se nos grãos de soja (variedade FOCO IPRO) safra 2020/2021 em função da aplicação de Se via foliar e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação no milho safrinha 2020.....	20

## RESUMO

VIEIRA, M. V. P., UniRV - Universidade de Rio Verde, junho de 2022. **Aplicação de selênio para biofortificação de grãos de milho e efeito residual na soja.** Orientador: Profa. Dra. June Faria Scherrer Menezes.

O selênio (Se) é um elemento classificado como benéfico para as plantas, sendo também essencial para os seres humanos e animais, por apresentar propriedades antioxidantes, anticancerígenas e imunológicas participando de fatores relacionados ao combate dos estresses oxidativos causados por radicais livres. A baixa disponibilidade no solo pode acarretar plantas com baixos teores de Se e conseqüentemente deficiência do elemento nos alimentos de consumidores, tanto humanos, como animais. A deficiência ocorre principalmente quando não há ingestão de nenhuma fonte de Se via suplementação mineral. Assim, o objetivo com este trabalho foi avaliar o efeito da adubação com Se aplicado, no tratamento de sementes e via pulverização foliar, na cultura do milho e posteriormente, o residual do Se para cultura de soja implantada na área do milho. No experimento foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com duas doses de Se, na forma de selenato de sódio (0 e 500 g ha<sup>-1</sup>) aplicadas no tratamento de sementes, via pulverização foliar e na cultura do milho, com quatro repetições. O teor de Se nas folhas e nos grãos de milho aumentaram significativamente com a aplicação de Se via foliar, sendo que a aplicação via foliar na dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de selenato de sódio (200 g ha<sup>-1</sup> de Se) resultou no aumento de 50% a mais de Se. A produtividade e massa de mil grãos não apresentaram diferenças significativas com a aplicação de selênio na cultura do milho. Os teores de Se foliar e nos grãos de soja não diferiram entre os tratamentos e apresentaram teores de Se muito baixos, cerca de 500 vezes menor, em relação aos teores de Se nos grãos de milho, comprovando que não houve efeito residual do Se no solo para a cultura subsequente. Assim, pode-se concluir que o Se foi fitodisponível nas adubações apenas no primeiro cultivo e que a dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de selenato de sódio exclusivamente via foliar resultou em maior teor de Se nos grãos de milho.

Palavras-chave: Adubação foliar, tratamento de sementes, selenato de sódio.

## ABSTRACT

VIEIRA, M. V. P., UniRV - Universidade de Rio Verde, June 2022. **Selenium application for biofortification of corn grain and residual effect on soybean.** Advisor: Professora Dra. June Faria Scherrer Menezes.

Selenium (Se) is an element classified as beneficial to plants, but essential to humans and animals because it has antioxidant, anticancer and immunological properties, participating in factors related to the fight against oxidative stress caused by free radicals. The low availability in the soil can lead to plants with low levels of Se and, consequently, deficiency of the element in the food of consumers, both human and animal. The deficiency occurs mainly when there is no intake of any source of Se via mineral supplementation. Thus, the objectives of this study were to evaluate the effect of Se fertilization applied in seed treatment and foliar spraying on the corn crop and, later, the residual of Se for soybean crop planted in the corn area. The experiment used a randomized block design with two doses of Se, in the form of sodium selenate (0 and 500 g ha<sup>-1</sup>) applied in seed treatment, via foliar spraying and in both ways to the corn crop, with four repetitions. Se content in leaves and kernels of corn increased significantly with foliar Se application, and foliar application at a dose of 500 g ha<sup>-1</sup> of sodium selenate (200 g ha<sup>-1</sup> of Se) resulted in the increase of 50% more Se. The yield and thousand grain mass did not show significant differences with the application of selenium in the corn crop. The foliar and grain Se contents of soybeans did not differ between treatments and showed very low Se contents, about 500 times lower in relation to the Se contents of corn grain, proving that there was no residual effect of Se in the soil for the subsequent crop. Thus, it can be concluded that Se was phytodisposable in the fertilizers only in the first crop and that the 500 g ha<sup>-1</sup> dose of sodium selenate exclusively via foliar resulted in higher Se content in corn kernels.

Keywords: Foliar fertilization, seed treatment, sodium selenate.

## 1 INTRODUÇÃO

O selênio (Se) é classificado como elemento essencial para animais e humanos, e também benéfico para as plantas. O Se no solo pode ser encontrado nas formas de selenato ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) e selenito ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ), mas também existem outras formas inorgânicas como selênio elementar ( $\text{Se}^0$ ), seleneto ( $\text{Se}^{2-}$ ) e ainda formas orgânicas de Se (KABATA-PENDIA, 1999). Como elemento essencial faz parte de processos metabólicos importantes como antioxidante, protegendo o tecido celular de danos que podem ser causados por radicais livres, auxiliando na manutenção do sistema imunológico, reduzindo o risco de infecções virais podendo regredir o avanço do câncer. Assim, o Se é de grande importância no metabolismo pois a sua deficiência pode acarretar em diminuição: da taxa de crescimento, distrofia muscular, anemia, hemorragia em animais e seres humanos.

No entanto, a deficiência de Se atinge aproximadamente um bilhão de pessoas no mundo, principalmente nos países em desenvolvimento, em que os cereais são a base da alimentação. No Brasil, seus produtos agrícolas possuem um teor baixo de Se assim fornecendo uma quantidade de Se menor que  $50 \mu\text{g kg}^{-1}$  na parte comestível do alimento acarreta em uma deficiência do nutriente (Ferreira et al., 2002). Este teor comparado com a necessidade do ser humano, que é de 50 a  $100 \mu\text{g}$  de Se, pode indicar que os teores de Se nos solos agrícolas brasileiros são baixos. Destacando-se os solos do cerrado que os teores podem ser inferiores a  $10 \mu\text{g dm}^{-3}$  de Se, sendo assim, considerado um solo naturalmente pobre deste elemento (FICHNER et al., 1990).

Decorrente dessa deficiência é necessário utilizar técnicas para aumentar o teor de Se nos vegetais, por meio da biofortificação e assim fornecer o elemento para os consumidores destas plantas biofortificadas com Se. A biofortificação é definida como sendo o processo de enriquecimento nutricional das culturas consumidas diariamente por humanos e animais (JEONG; GUERINOT, 2008).

Existem duas formas de biofortificação: a agronômica, que é por meio de adubação do elemento via solo, aplicação foliar ou pelo tratamento de sementes e a outra forma é pelo melhoramento genético, que proporciona aumento na capacidade das plantas em absorver diferentes nutrientes principalmente quando se realiza a seleção dos genótipos mais eficientes para acumular os elementos de interesse (WELCH, 2008).

O trigo é um cereal muito utilizado: na alimentação humana, para a produção de pães, farinhas, massas e bolos. A partir dessas técnicas de biofortificação estudos com o objetivo de melhorar a qualidade desses produtos nutricionalmente com Se foram conduzidos por Adams et al. (2002), nos quais observaram, em condições naturais de campo que sem adubação de Se, a variação dos teores de selênio foram entre 6 e 858  $\mu\text{g Se kg}^{-1}$  peso seco de grão. Já, outros pesquisadores Lyons et al. (2005), observaram, em campo, após a aplicação de 120  $\text{g ha}^{-1}$  de Se, um aumento nos teores de Se de até 11.950  $\mu\text{g kg}^{-1}$  peso seco de grão, e também encontrou-se experimentos, que demonstram a capacidade do trigo em acumular Se nos grãos. Sendo assim, a cultura do milho também é de grande importância por ser um grão consumido mundialmente de forma industrializada ou *in natura*. Biofortificando o milho com Se, poderá fazer com que a população tenha acesso nutricional ao Se contribuindo para que não desencadeie uma deficiência nutricional deste nutriente.

Além dos benefícios da biofortificação com Se, a adição do elemento poderá trazer benefícios às plantas, por promover aumento das atividades antioxidantes, auxiliando no aumento do crescimento vegetal e conseqüentemente, elevação da produção. O Se quando presente nos tecidos vegetais induz a atividade das enzimas APX (ascorbato peroxidase) e GSH-Px (glutathiona peroxidase) que são enzimas antioxidantes, que atuam no combate dos estresses oxidativos causados por radicais livres, em espécies reativas de oxigênio, melhorando o metabolismo das plantas (MITTLER, 2002).

Pelo exposto, os objetivos com este trabalho foram: avaliar a possibilidade da biofortificação dos grãos de milho com selênio, após a aplicação de selenato de sódio na dose de 500  $\text{g ha}^{-1}$  via aplicação foliar e/ou via tratamento de sementes e avaliar o efeito residual de Se quanto à sua disponibilidade para a cultura de soja implantada, em sucessão ao milho, que recebeu as adubações de Se.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Selênio no solo**

O selênio (Se) é encontrado no meio ambiente em fontes naturais, que passa por processos de decomposição geofísicos e biológicos do material de origem. Os teores de Se são originados principalmente: dos materiais vulcânicos, dos sedimentos de minérios de sulfeto,

queima de combustíveis, dos fertilizantes fosfatados e de algumas águas. Sendo encontrado na forma de selenato ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) e selenito ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ), mas também existe: selênio elementar ( $\text{S}^0$ ), seleneto ( $\text{Se}^{2-}$ ) e formas orgânicas de selênio (NEAL, 1995), com variações dependentes do pH. Em solos alcalinos  $\text{pH} > 15$  e bem oxidados, a forma predominante é selenato, selenito com  $\text{pH}$  variando de  $< 7,5$  a  $< 15$  e bem drenados em solos com condições reduzidas (Elrashidi et al., 1987 citados por Marschner (2012)).

Geralmente os teores de Se no solo são baixos, variando de  $0,01$  a  $2 \text{ mg kg}^{-1}$  (Marschner (2012)), porém há regiões com solos ricos em Se como a Irlanda, cujos teores são maiores do que  $5 \text{ mg dm}^{-3}$  (MAYLAND et al., 1989 e FARIA; KARP, 2017), considerados seleníferos. Mas há regiões de solos pobres em Se como o solo do cerrado no Centro-Oeste, com teores inferiores a  $10 \text{ } \mu\text{g dm}^{-3}$  (FICHNER et al., 1990).

O selenato, se trata de um ânion, com os fatores que controlam a mobilidade do Se nos solos, com influência principalmente: pelo regime hídrico,  $\text{pH}$ , o tipo de argila, o potencial de oxidação-redução, competições aniônicas, a quantidade de matéria orgânica no solo e os óxidos de ferro (CARTES et al., 2005; COZZOLINO, 2005; GISSEL-NIELSEN, 2002).

Solos com intemperismo avançado, contendo elevadas concentrações de óxidos de Fe e Al na fração argila, podem adsorver selenito, o que reduz consequentemente, a disponibilidade de Se nas plantas (ZHANG; SPARKS, 1990).

Em solos arenosos Fernandes et al. (2012), observaram que a disponibilidade de Se na forma selenito de sódio, resultaram em teores maiores de Se na parte aérea das culturas, quando comparadas com as culturas cultivadas em solos argilosos, apresentando aumentos de 264% nos teores de Se. Nas culturas de arroz e brócolis houve incremento de Se de 75%, com o aumento no fornecimento de Se, com doses de  $0,5$  a  $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ .

O Se possui propriedades e comportamentos similares as do S, sendo capaz de formar compostos em seus três estados de oxidação  $-2$ ,  $+4$  e  $+6$ , e transportar pelos mesmos canais de absorção, o que permite a sua combinação com uma variedade de elementos (LENZ; LENZ, 2009).

## **2.2 Selênio na planta**

Embora o Se não seja considerado um elemento essencial às plantas é fundamental para a nutrição humana e de animais (LISK, 1972; BAR-YOSEF; MEEK, 1987; RAIJ, 1991). Estudos têm mostrado alguns efeitos benéficos de Se em plantas, um deles é o aumento das atividades antioxidantes, fazendo com que a produção vegetal tenha aumento expressivo,

quando comparada a não adubação com Se (FERNANDES, 2012). O autor verificou ainda, que a aplicação de Se via solo promoveu aumento da massa seca da parte aérea e com aplicação de Se via foliar promoveu aumento na produção de grãos, concluindo que a aplicação de Se via solo obteve-se os melhores resultados nas leituras com SPAD e em maior acúmulo de biomassa da parte aérea do trigo e a adubação via foliar com 120 g ha<sup>-1</sup> de Se proporcionou maior produtividade dos grãos.

Existem três grupos de plantas que absorvem selênio a partir do solo: as acumuladoras, indicadoras e as não-acumuladoras, de acordo com MIKKELSEN et al. (1990). Dentre as espécies acumuladoras existem duas classificações as primárias e as secundárias. As primárias são capazes de acumularem milhares de miligramas e as secundárias acumulam centenas de miligramas de Se, isso por quilograma de matéria seca. Como exemplo de plantas acumuladoras primárias de Se cita-se algumas espécies de brássicas, como: brócolis, repolho, mostarda indiana e canola e as espécies de alho: cebola, alho poró e poró-selvagens. E plantas não-acumuladoras de Se cita-se as culturas de cereais tais como: trigo, aveia, centeio e cevada (WHO, 1987; BROADLEY et al., 2006). A maioria das plantas hortícolas e agrícolas são plantas não acumuladoras de Se, sendo que não assimilam mais que 100 mg kg<sup>-1</sup> Se (MIKKELSEN et al., 1990).

Estudos relatam que a absorção de Se e sua distribuição pelas plantas são maiores na forma de selenato do que selenito (MORA, 2005). Isso devido o selenato (SeO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) apresentar uma grande semelhança ao íon sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), sendo absorvido pelos mesmos canais e transportado pelos mesmos transportadores de sulfato (ASHER; BUTLER; PETERSON, 1977; TERRY et al., 2000), e o selenito tende a se acumular nas raízes das plantas (ZHANG et al., 2003). Assim, o transporte de Se até a parte aérea pode variar de acordo com cada espécie, estado fisiológico e fonte de Se aplicado, selenato ou selenito. O Se tende a acumular nas plantas de maneira decrescente nos órgãos da planta, indo da semente para as folhas e em seguida para o caule, e conseqüentemente há redução do teor de Se das folhas com o avanço da maturação da planta (CORREIA, 1986).

O selênio nas plantas promove alguns benefícios, tais como: atraso na senescência da alfaca, aumento da resistência a radiação UV em *ryegrass*, maior atividade respiratória em folhas, flores e na produção de sementes de *Brassica rapa* com adição de apenas 20-50 nM de selenito de sódio, na solução nutritiva (MARSCHNER, 2012).

O Se na planta é capaz de combater o estresse oxidativo causado pelos radicais livres de oxigênio, pois está associado a atividade da glutathione peroxidase, fazendo com que a

planta permaneça fisiologicamente ativa por mais tempo, conseqüentemente fazendo com que sua produção aumente (TURAKAINEN et al., 2005; RAMOS et al., 2011).

Sendo assim, pode-se comprovar que o Se possui vários benefícios para a planta mesmo não sendo essencial a ela.

Se a presença do elemento proporciona benefícios, o excesso de Se pode causar malefícios, como: atraso no crescimento, ocasionando folhas cloróticas e necróticas, ocasionando redução na síntese de proteína e levando a morte da planta ainda na fase vegetativa. As espécies têm uma ordem de capacidade de absorção do Se iniciando pelas: crucíferas, gramíneas, forrageiras, leguminosas e por fim os cereais. Entretanto, não se sabe por que as plantas apresentam diferenças na capacidade de acumular e tolerar Se (MALAVOLTA, 1980 e MARTINEZ et al., 2009).

### **2.3 Biofortificação**

O elemento selênio entra na cadeia alimentar primariamente através da absorção pela planta de Se que está no solo. Se o solo for deficiente, a planta terá baixos teores de Se e conseqüentemente no consumidor dessa planta. Assim, para combater os baixos teores de Se na alimentação humana e animal, o processo de biofortificação dos produtos agrícolas com o elemento pode ser uma alternativa viável no combate à desnutrição no Brasil e no mundo. A biofortificação fará com que todos possam se suprir deste nutriente naturalmente ao consumir os grãos enriquecidos ou até mesmo de seus derivados (ZANCUL, 2004). A concentração mínima de Se para animais e humanos é de 50 a 100 µg de Se pôr kg de matéria seca de alimentos.

A biofortificação de alimentos com Se iniciou-se na Finlândia, no ano de 1984 ao adicionar Se na forma de selenato de sódio em fertilizantes com intuito de melhorar nutricionalmente os alimentos produzidos na região, que apresentava baixas concentrações desse elemento desencadeando uma deficiência nutricional generalizada na população por Se (EICHHOLZER, 2003 e KANTOLA et al., 2004). Desde então, a biofortificação se tornou um destaque em pesquisas agronômicas.

A biofortificação consiste em utilizar técnicas que aumentam o teor de elementos-traços essenciais aos humanos e animais nos alimentos através de técnicas de melhoramento genético e agronômicas que possibilitam, que as plantas apresentem maiores teores de nutrientes, vitaminas e maior capacidade de absorção de diferentes nutrientes, dentre deles o Se (White & Broadley, 2005).

A biofortificação agronômica é uma técnica que também se destaca devido a economia e rentabilidade através de manejos que contribuem para aumentar o teor do nutriente, com adubações foliares e ou via solo por tratamento de sementes (WELCH, 2008).

A biofortificação agronômica de Se apresentou resultados significativos em pesquisas realizadas por Fernandes (2012), nas culturas de arroz, brócolis e rabanete. Sendo que na cultura do arroz os teores de Se na parte aérea aumentaram de 0,10 mg kg<sup>-1</sup> a 2,51 mg kg<sup>-1</sup>, no brócolis os teores de Se na parte aérea variaram de 0,08 a 3,05 mg kg<sup>-1</sup> e para o rabanete os teores de Se variaram de 0,10 a 1,85 mg kg<sup>-1</sup>. As aplicações de Se na forma de selenito de sódio contribuíram significativamente no aumento dos teores de Se nas três culturas estudadas, sendo as doses recomendadas de Se diferentes para cada cultura. Na cultura do arroz recomenda-se 162 a 712 g ha<sup>-1</sup> de Se, na cultura de brocolis, de 22 a 423 g ha<sup>-1</sup> e para o rabanete recomenda-se 227 a 504 g ha<sup>-1</sup>, sendo as maiores doses indicadas para solos argilosos.

Trabalhando com feijão e milho, Corbo (2014), mostrou a eficiência da aplicação de Se no solo, na forma de selenito de sódio, e concluiu que para biofortificar os alimentos com Se foi necessário aplicar de 50 a 500 g ha<sup>-1</sup> de Se para a culturas. Concluiu também, que a maior dose de Se, 500 g ha<sup>-1</sup>, contribuiu para o maior teor de Se nos grãos, mas com teores que ultrapassaram o limite máximo de tolerância de Se em alimentos sólidos, que é de 0,3 mg kg<sup>-1</sup>.

Segundo a tabela do Instituto de Medicina/alimentação e nutrição (2000) a recomendação de ingestão de Se para diferentes estádios de vida é de 90 a 400 ug dia (UL = limite máximo tolerável de Se), teores que ultrapassam esse limite, seriam tóxicos. Por isso, determinar a dose aplicada com a quantidade biofortificada nos órgãos consumidos das plantas é importante.

Por ser o milho uma cultura alimentícia tradicional da dieta de animais e humanos e um dos componentes principais de ração, a biofortificação dos grãos de milho poderá contribuir para a ingestão diária de Se a níveis adequados (CORBO, 2014).

### **3 HIPÓTESES**

O fornecimento de selênio através da pulverização foliar e no tratamento de sementes na cultura de milho é eficiente em incrementar os teores de Se nas folhas e conseqüentemente nos grãos, causando a biofortificação dos grãos com selênio e

A adubação de Se na cultura do milho possui efeito residual na cultura sucessora, como a da soja, podendo biofortificar os grãos de soja.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Características da área e delineamento experimental

Os experimentos para a biofortificação com Se em milho e soja foram conduzidos em condições de campo, na fazenda Rio Doce, localizada na BR 060, 32 km, no sentido Rio Verde a Jataí, Município de Rio Verde – GO, nas coordenadas geográficas -17°84'32,62”S e -51°22'74,88”.

O projeto foi dividido em dois cultivos: sendo o primeiro com a cultura do milho na safrinha 2020, com as aplicações de Se e o segundo cultivo com a cultura da soja na safra 2020/2021, para avaliar o efeito residual do Se que foi aplicado no milho.

Os dados de precipitação pluvial mensal foram acompanhados durante o primeiro cultivo a fim de certificar a absorção do selênio pelas plantas de milho (Figura 1).

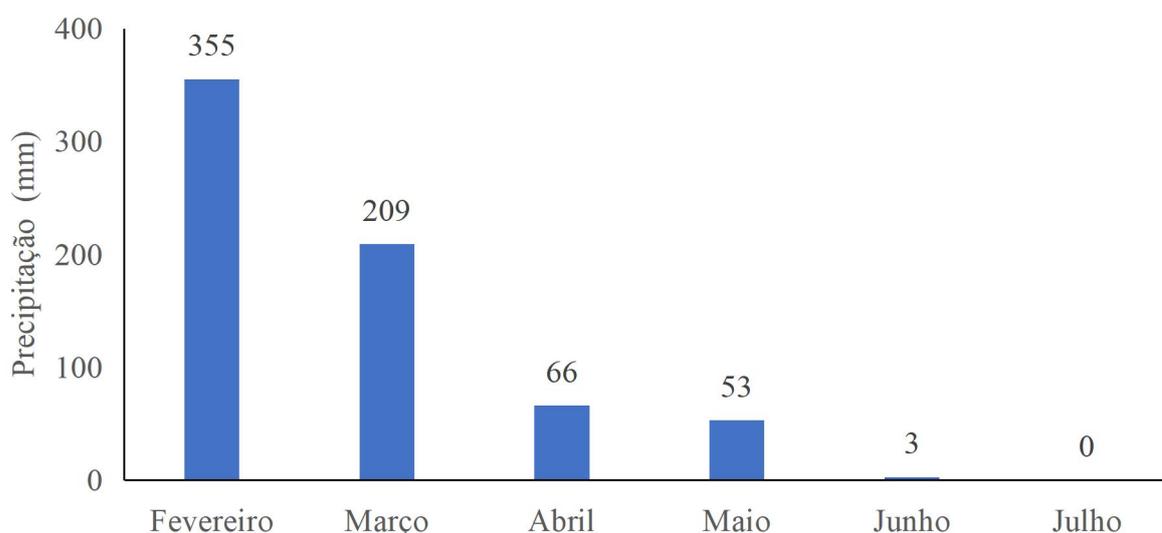


Figura 1. Precipitação pluvial mensal dos meses de fevereiro a julho de 2020 ocorridas próximo à área experimental, durante a condução do cultivo do milho. Rio Verde, GO.

## 5.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento com as duas culturas foi realizado em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4 com 4 repetições totalizando 32 parcelas. Compreendido por duas culturas, quatro tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi composta por 3,5 m de largura, contendo 7 linhas de plantio de 0,5 m de espaçamento e 5,0 m de comprimento, perfazendo uma área de 17,5 m<sup>2</sup> e totalizando uma área de 350 m<sup>2</sup>.

Os tratamentos foram compostos por: controle sem aplicação de selênio (tratamento controle com 0 g ha<sup>-1</sup> de Se), aplicação total de selênio via tratamento de sementes, por meio de diluição da fonte de Se em água destilada, em seguida homogeneizada em um saquinho plástico na dose de 200 g ha<sup>-1</sup> de selênio via tratamento de sementes (100% TS), aplicação de selênio via tratamento de sementes, por meio de diluição da fonte de Se em água destilada em seguida homogeneizada, em um saquinho plástico na dose de 100 g ha<sup>-1</sup> de selênio via tratamento de sementes (50% TS) mais aplicação de selênio via pulverização foliar no estágio fisiológico V<sub>4</sub> na dose de 100 g ha<sup>-1</sup> (50% AF) e aplicação de 200 g ha<sup>-1</sup> de selênio via pulverização foliar no estágio fisiológico V<sub>4</sub> (100% AF). A fonte utilizada de selênio neste trabalho foi selenato de sódio (Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub> com 40% de Se).

## 5.3 Condução dos ensaios

Primeiramente foi feito o estaqueamento da área e uma amostragem inicial do solo na profundidade de 0-20 cm para determinar a fertilidade do solo e o teor de Se no solo antes da instalação dos tratamentos (Tabela 1). Os teores de selênio no solo foram determinados utilizando-se a espectrometria de emissão óptica de plasma indutivamente acoplado- ICP-OES.

Verificou-se pela análise química inicial da amostra que não foi detectado Se no solo (Tabela 1), indicando que as aplicações de Se pelos tratamentos poderiam ser capazes de influenciarem as variáveis analisadas a fim de alcançar os objetivos propostos. Segundo Ferreira et al. (2002), teores de 10 µg dm<sup>-3</sup> de Se no solo seriam considerados baixos.

Tabela 1 - Resultados da análise físico-química da área experimental antes da implantação do ensaio. Rio Verde, GO. 2020

pH	Al	(H+Al)	Ca	Mg	K
CaCl <sub>2</sub>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				
4,9	0,05	3,60	2,17	0,61	0,18
P	S	Se	Areia	Silte	Argila
----- mg dm <sup>-3</sup> -----		----- g kg <sup>-1</sup> -----			
9,50	30	nd*	285,6	133,2	581,2

nd = teor de Se não detectados, abaixo do limite de detecção (mg L<sup>-1</sup>).

A semeadura do milho foi de forma manual realizada no dia 21 de fevereiro de 2020, considerada segunda safra de milho ou na safrinha. O híbrido utilizado foi o Vigora Galo VIP3 da empresa Seedcorp, em uma população de 60.000 pl ha<sup>-1</sup> contendo 3,5 sementes, por metro.

As aplicações foliares foram realizadas no dia 25 de março de 2020, com o auxílio de uma bomba costal pressurizada com CO<sub>2</sub> contendo 4 bicos na barra em formato de leque, perfazendo uma taxa de aplicação de 150 L ha<sup>-1</sup>.

As avaliações realizadas no milho foram: altura de plantas, teores de macronutrientes, de selênio nas folhas, índice de clorofila SPAD 502, no estágio fisiológico R1, produtividade de grãos em quilograma ha<sup>-1</sup>, massa de 1000 grãos e quantificação do teor de selênio nos grãos.

Para quantificar o teor de Se nos extratos utilizou-se a espectrometria de emissão óptica de plasma indutivamente acoplado- ICP-OES. E para a determinação do índice de clorofila nas folhas foi utilizado o aparelho SPAD 502 MINOLTA.

Após a colheita do milho no dia 23 de outubro de 2020, na safra 2020/2021, a área foi semeada com soja para a avaliação do efeito residual do Se aplicado no milho. Utilizou-se a variedade Brasmax FOCO IPRO grupo de maturação 7.4 com 114 dias. A semeadura foi realizada de forma manual no mesmo sulco de plantio da cultura anterior no espaçamento de 0,5 m entre linhas e utilizando-se 20 sementes por metro para à obtenção de uma população final de aproximadamente 180.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

As avaliações realizadas na cultura da soja foram: estande inicial de plantas, 21 dias após o plantio, alturas de plantas nos estádios fenológicos, entre V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub>, também na colheita, teores foliares de macronutrientes, bem como de Se, índice de clorofila utilizando o aparelho SPAD 502 no estágio fisiológico R1, também na colheita, a produtividade, massa de 1000 grãos e os teores de Se nos grãos.

Os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme as recomendações padrões da Região fazendo de 3 a 4 pulverizações de fungicidas, com controle de lagartas, percevejos, inseticidas e o controle de plantas daninhas com herbicidas. Adubação utilizada foi conforme o

procedimento da fazenda Rio Doce, com exceção a aplicação de selênio. Foram aplicadas também na área do experimento 2 t ha<sup>-1</sup> de cama de frango, que já era de rotina da fazenda e como adubo mineral utilizou-se o superfosfato simples granulado 0-21-0 aplicando 170 kg ha<sup>-1</sup> e 100 kg ha<sup>-1</sup> de KCl. Foi feita uma adubação nitrogenada com 140 kg ha<sup>-1</sup> de ureia a lanço no dia 04 de março de 2020, após 10 dias do plantio.

Para avaliação dos resultados, os dados observados do ensaio para a cultura do milho e cultura da soja foram submetidos à análise de variância, com realização de teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação entre as médias das doses empregadas, efetuadas pelo programa SISVAR (Ferreira, 2019).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Milho safrinha

Ao analisar os teores foliares dos nutrientes e selênio observou-se que houve significância para os teores de K, Mg e Se na cultura do milho, em função aos tratamentos aplicados. Embora os tratamentos fossem com aplicação de selênio, alguns teores foliares variaram entre os tratamentos, como os de K e Mg (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para os teores foliares de macronutrientes na cultura do milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020 em função da aplicação de Se via foliar em V4 e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação

FV	GL	----- Quadrado médio -----						
		N	P	K	Ca	Mg	S	Se
Trat.	3	4,512 <sup>ns</sup>	1,716 <sup>ns</sup>	84,457**	14,427 <sup>ns</sup>	1,071**	0,049 <sup>ns</sup>	406,336**
Bloco	3	0,815	0,578	75,364	3,851	0,169	0,051	1,949
Erro	9	1,919	0,613	17,645	8,354	0,134	0,064	2,320
CV(%)		4,31	17,51	19,77	27,09	12,33	14,95	15,95
		----- g kg <sup>-1</sup> -----						
Média		32,11	4,47	21,25	10,670	2,975	1,686	9,548
<i>p value</i>		0,1404	0,1011	0,0292	0,2307	0,0067	0,5386	0,0000

FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; Cv = Coeficiente de variação; ns = não significativo e \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O tratamento com 100% da dose de selênio aplicado via tratamento de sementes apresentou maior teor de K, com 26,25 g kg<sup>-1</sup> em relação ao tratamento com 50% da dose de

Se aplicado via foliar (Tabela 3). Esse teor é considerado superior aos teores de referência para K, indicando excesso de K com esse tratamento. Os teores de Mg na folha de milho com o tratamento correspondente a 100% da dose de selênio aplicado via foliar apresentou superioridade com 3,73 g kg<sup>-1</sup> em relação aos demais tratamentos, porém sem superar os teores de referência preconizados para a cultura (Tabela 3).

Em outros trabalhos com aplicação de doses de selênio avaliando-se os teores de nutrientes nas folhas de algumas culturas tais como feijão e alface (RAMOS et al., 2011), couve (KOPSELL et al., 2000) e milho (HAWRYLAK-NOWAK, 2008), os autores observaram que não houve alteração dos teores de Ca e Mg nas folhas e também nos produtos comestíveis em função da aplicação com selênio. De acordo com estes autores, selênio não teve qualquer efeito sobre o acúmulo de Ca e Mg. Diferentemente de Dutra (2017), em que com o aumento das doses de Se houve diminuição dos teores de Ca e Mg nas folhas de couve-flor com aplicação de 60 µmol L<sup>-1</sup> de selenato de sódio.

Boldrin (2011), trabalhando com aplicação de cinco doses de Se (0, 0,75, 1,50, 3,0 e 6,0 mg dm<sup>-3</sup>) e duas formas de Se (selenato e selenito) na adubação de trigo, o autor verificou que o Se promoveu alteração dos teores de P e S, o que não ocorreu no presente trabalho.

Os teores de Se nas folhas de milho aumentaram significativamente com aplicação de Se via foliar, sendo que na dose de 200 g ha<sup>-1</sup> de Se resultou no aumento de 50% a mais de Se em relação a dose de 100 g ha<sup>-1</sup>, com teores de 22,545 mg kg<sup>-1</sup> e 12,447 mg kg<sup>-1</sup> de Se, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Teores foliares de nutrientes na cultura do milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020 em função da aplicação de Se via foliar em V4 e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Se	
			----- g kg <sup>-1</sup> -----					mg kg <sup>-1</sup>
Controle	33,48	3,82	21,25 ab	8,08	2,71 b	1,72	0,853 c	
100% TS	32,38	4,74	26,25 a	11,13	2,89 b	1,53	2,350 c	
TS e AF	31,50	4,08	15,16 b	12,64	2,58 b	1,78	12,447 b	
100% AF	31,07	5,26	22,34 ab	10,83	3,73 a	1,72	22,545 a	
VR*	27 a 32,5	2,5 a 3,5	17,5 a 22,5	2,5 a 4	2,5 a 4	1 a 2		

TS = Tratamento de sementes; AF = Aplicação foliar em V4. \* VR = Valor de referência = nível adequado (Martinez et al., 1999). Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Dutra (2017), avaliando a biofortificação de selênio em plantas de couve-flor com aplicação de Se, em solução nutritiva na dose de 60 µmol L<sup>-1</sup> de selenato e selenito, determinou que o acúmulo de Se nas folhas e inflorescências foi maior com a aplicação de

selenato, do que com selenito. Independente da dose do selenato, as folhas apresentaram maior acúmulo de Se, com 775 mg kg<sup>-1</sup> de Se nas folhas e 1017 mg kg<sup>-1</sup> de Se nas inflorescências. Resultados compatíveis de biofortificação de Se em folhas de alface também foram obtidos por Ramos et al. (2011a), em que a aplicação de selenato e selenito via solução nutritiva na dose de 15 µmol L<sup>-1</sup> de Se foi suficiente para promover o acréscimo de Se nas folhas de alface, sendo superior comparados aos resultados obtidos, com aplicação do selenito e observaram ainda uma relação sinérgica entre Se e S.

No presente trabalho as aplicações de Se não ocasionaram interação sinérgica ou antagônica entre Se e S, pois os teores de S foram semelhantes independentemente das aplicações (Tabela 3). Afirmativa oposta relatada por Mikkelsen & Wan (1990) e Ramos et al. (2011a), pois em seus estudos com adubação com Se este promoveu efeito sinérgico do Se com S em plantas, principalmente na parte aérea da cevada, arroz e na alface.

Semelhantemente, Nunes (2019), avaliando o efeito da combinação de doses de S e Se na cultura do feijoeiro comum relatou que quando ocorre a absorção destes elementos há efeito sinérgico. Ao avaliar o efeito da aplicação de doses de S com 45 e 90 mg dm<sup>-3</sup> de S, em função de doses crescentes de Se (0, 0,5; 1,0; 2,0, 4,0 mg dm<sup>-3</sup>) observou-se efeito sinérgico entre Se e S principalmente, com maiores doses de Se. Para maior proporção de crescimento vegetal e acúmulo de S na massa seca de parte aérea obteve-se melhor resultado com a dose de 2,0 mg dm<sup>-3</sup>. E com o aumento das doses de Se observou-se que, ocorreu a redução da produtividade de grãos, com exceção aos tratamentos com 90 mg dm<sup>-3</sup> de S até a dose 1,63 mg dm<sup>-3</sup> de Se.

Resultados diferentes também foram encontrados por Rios et al. (2013), ao aplicar altos teores de Se em alface, pois a sua adição proporcionou efeito antagônico, na absorção de S, reduzindo o teor de S nas plantas, com aplicação de Se.

Os tratamentos não diferiram para as variáveis: altura, índice SPAD, produtividade de grãos e massa de mil grãos indicando que estas variáveis não foram afetadas com aplicação de Se (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados da análise estatística para as variáveis altura de plantas (ALT), índice SPAD (SPAD), produtividade de grãos (PROD) e massa de mil grãos (MMG) para a cultura do milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020 em função da aplicação de Se via foliar em V4 e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação

FV	GL	Quadrado médio			
		ALT	SPAD	PROD	MMG
Tratamento	3	0,0159 ns	7,041 ns	3928919 ns	938,020 ns
Bloco	3	0,0137	0,666	5095700,3	377,313
Erro	9	0,0247	3,660	2417540,3	319,858
CV (%)		5,81	3,65	16,27	6,40
Média		2,70	52,404	9555,8	279,631
<i>p value</i>		0,6049	0,1963	0,2513	0,0919

FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; Cv = Coeficiente de variação; ns = não significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F; MM = massa de mil grãos.

Resultados divergentes foram encontrados por Martinez et al., (2009), com aplicação foliar de Se em que a dose acima de 500 g ha<sup>-1</sup> na cultura da soja afetou a altura de planta reduzindo o seu porte, altura da inserção do primeiro legume e número de sementes por legume, fazendo com que a produtividade, reduzisse em até 21% devido ao efeito fitotóxico de Se.

Resultados médios para as variáveis: altura, índice SPAD, produtividade de grãos e massa de mil grãos, em função das aplicações de Se no milho estão apresentadas na Tabela 5.

A produtividade média de grãos foi de 9.556 kg ha<sup>-1</sup> com rendimento equivalente a 159 sacas ha<sup>-1</sup>. Resultado satisfatório comparado com a produtividade anual de milho regional de Rio Verde –Go, que foi de 5.300 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020).

Tabela 5 - Altura de plantas, índice SPAD, produtividade massa de mil grãos (MM grãos) do milho Vigora Galo VIP3 na safrinha 2020 em função das aplicações de selênio via foliar e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação

Tratamentos	Altura de plantas	Índice SPAD	Produtividade de grãos	MM grãos
	m	-	kg ha <sup>-1</sup>	g
Controle	2,79	53,925	10.946,5	297,93
100% TS	2,69	52,775	8.895,5	267,75
TS e AF	2,64	52,175	9.584,1	266,25
100% AF	2,69	50,370	8.796,9	286,59
Médias	2,70	52,403	9.555,76	279,63

Nos resultados obtidos por Martinez et al. (2009), estes indicaram efeitos opostos ao deste ensaio, ocorrendo queda na produtividade de grãos de soja nos tratamentos em que foram aplicados Se, porém quando utilizou-se selenito de sódio como fonte de Se,

independentemente da concentração aplicada foi constatado que ao solo pode interferir no desenvolvimento da planta reduzindo a produtividade destas. Isso é devido o processo de conversão do selenito na forma orgânicas de Se, ele se liga em proteínas pela substituição do S, causando efeito tóxico rapidamente na planta, quando comparada ao selenato de sódio (HOPPER e PARKER, 1999).

Embora a aplicação de Se não tenha tido influência nas avaliações de: altura de planta, índice de SPAD, produtividade de grãos e massa de mil grãos com os modos de seu fornecimento, quando se avaliou os teores dos nutrientes nos grãos, observou-se que, o seu teor foi diferente entre os tratamentos (Tabela 6). Os teores dos demais nutrientes nos grãos de milho não variaram com as formas de aplicação de Se.

Tabela 6 - Resultados da análise estatística para os teores de nutrientes nos grãos de milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020 em função da aplicação de selênio via foliar em V4 e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação

FV	GL	----- Quadrado médio -----						
		N	P	K	Ca	Mg	S	Se
Trat.	3	3,383 ns	0,388ns	0,482 ns	22,904	0,093 ns	0,005 ns	16,902 **
Bloco	3	1,217	2,005	0,479	11,911	0,247	0,025	0,103
Erro	9	2,534	0,655	0,501	8,262	0,247	0,006	0,473
CV	(%)	13,86	31,34	19,06	44,77	16,90	8,10	30,95
Média		11,487	2,583	3,714	6,420	2,654	0,977	2,224
<i>p value</i>		0,3232	0,6356	0,4519	0,1029	0,7124	0,4909	0,0000

FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; CV = Coeficiente de variação; ns = não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Os grãos de milho apresentaram maiores teores de Se com aplicação 100% via foliar (Tabela 7), indicando que a dose de 200 g ha<sup>-1</sup> de Se foi suficiente para aumentar os teores deste nos grãos e que houve a biofortificação dos grãos com 4,773 mg kg<sup>-1</sup> de Se. O mesmo ocorreu com aplicação de 50% TS e 50% AF apresentando teor de 2,973 mg kg<sup>-1</sup> de Se. Os teores de Se nos grãos também foram superiores ao tratamento controle e aplicação de 100% via TS.

Tabela 7 - Teores de nutrientes nos grãos de milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020 em função da aplicação de selênio via foliar em V4 e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Se
		----- g kg <sup>-1</sup> -----					mg kg <sup>-1</sup>
Controle	10,50	2,93	4,07	7,59	2,88	1,01	0,273 c
100% TS	12,03	2,51	3,91	4,01	2,60	0,96	0,878 c
TS e AF	12,47	2,70	3,29	4,90	2,59	1,00	2,973 b
100% AF	10,94	2,20	3,60	9,19	2,55	0,93	4,773 a
VR*	14,0	2,60	3,70	0,10	1,10	1,00	

TS = Tratamento de sementes; AF = Adubação foliar em V4. \* VR = Valor de referência = nível adequado (Duarte et al., 2019). Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação a biofortificação, Corbo (2014), em seus trabalhos nas culturas de feijão e milho, concluiu que para biofortificar os alimentos com Se, foram necessários aplicar 500 g ha<sup>-1</sup> de Se, porém o teor de Se nos grãos ultrapassou o limite máximo tolerável para Se nos alimentos, que é de 0,3 mg kg<sup>-1</sup> de Se. Mesmo com uma dose duas vezes menor neste trabalho (200 g ha<sup>-1</sup> de Se), os teores de Se determinados nos grãos de milho foram superiores aos encontrados por Corbo (2014), correspondendo a 2,973 mg kg<sup>-1</sup> (TS) e 4,773 mg kg<sup>-1</sup> (AF).

Os resultados encontrados por Fernandes et al. (2012), mostram que as doses de Se para a biofortificação de arroz foram 162 e 712 g ha<sup>-1</sup> de Se, para a cultura do brócolis de 22 a 423 g ha<sup>-1</sup> de Se e para a cultura do rabanete foram 227 a 504 g ha<sup>-1</sup> de Se, sendo que as menores doses foram recomendadas para solo arenoso e as maiores doses para solos argilosos.

Trabalhando com biofortificação de tubérculos de batata, Nasser (2015), constatou que, para o consumo de 100 g de batata com 90% de água, quando aplicou-se Se via solo na concentração 0,50 mg dm<sup>-3</sup> foi suficiente para atingir teor médio de 49 µg de Se, tornando uma concentração próxima à recomendada, que é de 55 µg de Se diários. E quando empregou-se maior dose, equivalente a 1,0 mg dm<sup>-3</sup> de Se, obteve-se 100 µg de Se, teor não considerado tóxico, pois este nível seria de 400 µg dia. A aplicação de Se via foliar (solução com 0,42% de Se) foi mais eficiente do aplicação via solo, no acúmulo de Se nos tubérculos, porém, os danos gerados à cultura apresentaram níveis severos de fitotoxidez não foram viáveis para esse tipo de aplicação com as doses testadas.

Com mesmo objetivo de biofortificação Poggi et al. (2000), verificaram que no fornecimento de Se na forma de selenato ou selenito via adubação foliar em batata, ocorreu aumento nas concentrações Se nos tubérculos, sendo a dose recomendada pelos autores para batata de 150 g ha<sup>-1</sup> de Se via selenato de sódio.

Observando-se os teores de Se nas folhas com os teores de Se nos grãos verificou-se que, cerca de 25% (21,17 e 23,88%) dos teores de Se foram retranslocados das folhas de milho para os grãos (Figura 2).

Segundo Marschener (2012), o selênio possui baixa translocação no floema, sendo considerado um elemento pouco móvel, permanecendo em grande quantidade no órgão de aplicação. No presente trabalho, constatou-se que 75 % do Se aplicado ficou no órgão que recebeu a adubação. Podendo-se afirmar também, que de 100% da quantidade aplicada (200 g ha<sup>-1</sup> de Se) com o tratamento 100% aplicação foliar apenas 2,39% de Se foram translocados para os grãos, seguido da aplicação de 50% TS e 50% AF, obtendo-se 1,49 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 4 e 7 e figura 2), estas afirmações confirmam que o tratamento de semente foi ineficiente para a biofortificação.

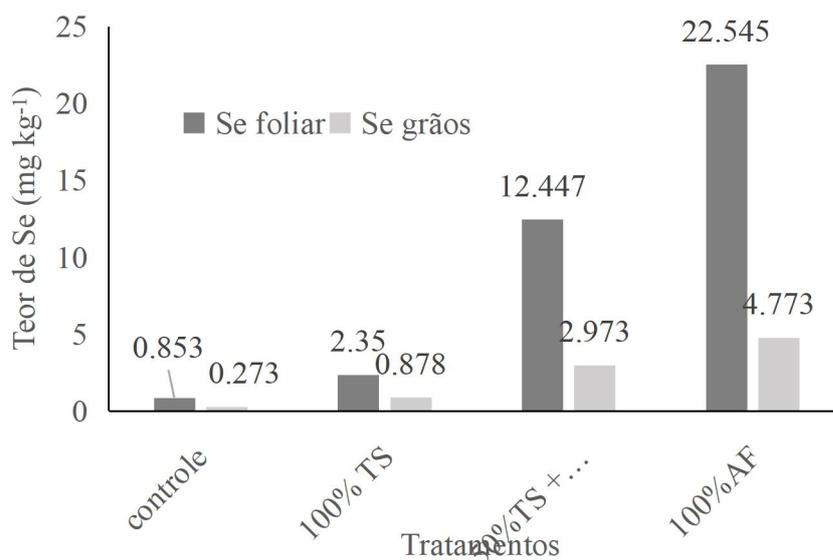


Figura 2 - Teor de selênio nos grãos que foram retranslocados das folhas em função das adubações de selênio aplicadas na cultura do milho (Vigora Galo VIP3) na safrinha 2020.

## 6.2 Cultura da soja efeito residual

Para a avaliação do efeito residual do Se aplicado no milho para a cultura da soja, observou-se que não houve significância para os teores de Se nas folhas, indicando que as aplicações de Se no milho não proporcionaram efeito residual de Se para a cultura da soja (Tabela 8). Embora os tratamentos fossem com aplicação de selênio, os teores de Ca, N e P variaram entre os tratamentos.

Tabela 8 - Resultados da análise estatística para os teores foliares de macronutrientes e de Se na cultura da soja (variedade FOCO IPRO) safra 2020/2021 em função do residual da aplicação de selênio via foliar e/ou tratamento de sementes no milho safrinha 2020

FV	GL	----- Quadrado médio -----						
		N	P	K	Ca	Mg	S	Se
Trat.	3	363,309 **	0,949**	2,746 ns	5,379 *	0,160 ns	0,039 ns	0,0025 ns
Bloco	3	42,026	0,627	20,341	1,297	0,014	0,702	0,0013
Erro	9	10,221	0,257	3,257	0,856	0,049	1,100	0,0011
CV (%)		4,95	11,02	11,03	11,25	6,70	36,82	73,04
Média		64,589	4,605	16,370	8,226	3,319	2,849	0,046
<i>p value</i>		0,0000	0,0557	0,5040	0,0137	0,0748	0,9905	0,1509

FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; Cv = Coeficiente de variação; ns = não significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F.

Embora os teores foliares de Se não foram significativos entre os tratamentos (Tabela 9), notou-se que nos tratamentos que receberam Se, os teores de Se foliar (média de 0,058 mg kg<sup>-1</sup>) apresentaram tendência de aumento quando comparados ao tratamento controle, sem fornecimento de Se, com teor de 0,009 mg kg<sup>-1</sup> (6,4 vezes inferior aos tratamentos sem adubação), sem contudo apresentar diferença estatística.

Tabela 9 - Teores foliares de macronutrientes e de Se na cultura da soja (variedade FOCO IPRO) safra 2020/2021 em função do residual da aplicação de selênio via foliar e/ou tratamento de sementes no milho safrinha 2020

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Se
	----- g kg <sup>-1</sup> -----						mg kg <sup>-1</sup>
Controle	75,25 a	5,09 a	15,32	7,80 ab	3,54	2,89	0,009
100% TS	56,22 b	4,27 ab	16,10	6,78 b	3,16	2,85	0,051
TS e AF	56,88 b	4,11 b	17,03	9,08 a	3,14	2,72	0,066
100% AF	70,00 a	4,95 ab	17,03	9,24 a	3,43	2,96	0,057
VR*	45 a 55	2,5 a 5,0	17 a 25	3,5 a 20	2,5 a 10	2,0 a 4,0	

TS = Tratamento de sementes; AF = Adubação foliar em V4. \* VR = Valor de referência = nível adequado (Embrapa soja, 2011). Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores de N, P e Ca alteraram em função dos tratamentos, porém sem consistência nos resultados para afirmar que as doses de Se alteraram os teores destes nutrientes nas folhas. Pode-se afirmar, porém, que os teores dos macronutrientes estavam dentro das faixas adequadas para a cultura da soja. No trabalho de Ramos et al. (2011), trabalhando com cinco cultivares de alface com três concentrações de Se (0, 10 e 20 µmol L<sup>-1</sup>) e duas formas de Se (selenato e selenito) os autores relataram que com o aumento das concentrações de Se independente da forma de Se não houve alterações nos teores de Mg e Ca com exceção da

variedade Veneranda para o Ca, em que o aumento da concentração da solução de Se reduziu o teor de Ca na cultivar.

No trabalho de Stroud et al. (2010), avaliando o efeito residual de Se na cultura de capim mombaça após aplicação de Se em feijão comum, na dose de 0,8 mg dm<sup>-3</sup> de Se com selenato de sódio no solo, os autores afirmaram que houve aumento de Se na parte aérea do capim em resposta a adubação de Se no feijão.

Entre os tratamentos houve diferença significativa para as variáveis altura de planta e massa de mil grãos da soja (Tabela 10). Para as demais variáveis como índice SPAD e produtividade de grãos não houve significância entre os tratamentos indicando que estas variáveis não foram comprometidas com as aplicações de Se (Tabela 10).

Tabela 10 - Resultados da análise estatística para componentes de produtividade na cultura da soja (variedade FOOCO IPRO) safra 2020/2021 em função do residual da aplicação de selênio via foliar e/ou tratamento de sementes no milho safrinha 2020

FV	GL	----- Quadrado médio -----			
		Altura de plantas	Índice SPAD	Produtividade de grãos	Massa de mil grãos
Tratamento	3	39,062 *	4,328	191815,6 ns	0,544 *
Bloco	3	4,042	0,561	78822,1	0,256
Erro	9	7,418	1,202	78110,0	0,137
CV (%)		5,39	2,56	6,27	2,61
Média		50,487	42,872	4460,8	14,217
<i>p value</i>		0,0226	0,0589	0,1297	0,0470

FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; Cv = Coeficiente de variação; ns = não significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F.

Observou-se que a menor altura de plantas foi obtida no tratamento com aplicação de 50% de Se via foliar e 50% de Se via TS, em relação a adubação 100 % via foliar (53,65 cm). Semelhantemente, a massa de mil grãos variou entre os tratamentos, sendo menor no tratamento com 100% de fornecimento de Se via TS, em relação a 100% via foliar (Tabela 11).

Tabela 11 - Altura de plantas, índice SPAD, produtividade massa de mil grãos de soja (variedade FOCO IPRO) safra 2020/2021 em função da aplicação de Se via foliar e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação no milho safrinha 2020

Tratamentos	Altura de plantas	Índice SPAD	Produtividade de grãos	Massa de mil grãos
	M	-	kg ha <sup>-1</sup>	G
Controle	52,25 ab	41,58	4444,0	140,6 ab
100% TS	49,45 ab	42,50	4697,9	138,9 b
TS e AF	46,60 b	43,87	4173,1	141,8 ab
100% AF	53,65 a	43,55	4528,35	147,4 a

Resultados opostos foram descritos por Martinez et al., (2009), após aplicação foliar de Se utilizando doses de 0,5 a 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de Se na forma de selenito de sódio, na cultura da soja, relatando que mesmo em pequenas doses, Se ocasionou sintomas de fitotoxidez nas folhas, afetando as características: altura de planta, altura da inserção do primeiro legume e número de sementes por legume, causando queda na produtividade de grãos, em até 21% devido aos efeitos da fitotoxidez.

O teor de nitrogênio, segundo Ilbas et al. (2012), foi influenciado pela aplicação de Se nas plantas de cevada, em que a aplicação de selenito de sódio em baixa concentração (12,5 g ha<sup>-1</sup> de Se) no solo, aumentou o teor de N nos grãos.

Neste presente trabalho não foi possível correlacionar os índices de clorofila SPAD com a produtividade de grãos. As plantas com maiores teores de clorofila não apresentaram maior rendimento de grãos (Tabela 11).

Os resultados de produtividade deste trabalho foram em média 4.460,8 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de soja, podendo ser considerada satisfatória, quando comparada com a produtividade regional de Rio Verde – GO, que foi de 3.900 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2020).

Entre os tratamentos não houve diferença nos teores de macronutrientes e nem de selênio nos grãos de soja, sendo assim não ocorreu efeito residual de Se nas aplicações de Se na cultura do milho para a cultura sucessora (Tabela 12).

Tabela 12 - Resultados da análise estatística para os teores de macronutrientes e de Se nos grãos de soja (variedade FOOCO IPRO) safra 2020/2021 em função da aplicação de Se via foliar e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação no milho safrinha 2020

FV	GL	----- Quadrado médio -----						
		N	P	K	Ca	Mg	S	Se
Tratamento	3	1,328	6,308	17,280	0,808	0,022	1,950	0,021
Bloco	3	4,009	2,077	0,611	1,351	0,0017	3,770	0,073
Erro	9	2,726	4,226	8,857	1,823	0,021	3,921	0,027
CV (%)		2,69	29,87	20,50	28,79	5,65	32,08	142,52
Média		61,307	6,881	14,516	4,690	2,582	6,173	0,115
<i>p value</i>		0,6994	0,2814	0,1920	0,7278	0,4165	0,6931	0,5354

FV = Fonte de variação; GL = Grau de liberdade; Cv = Coeficiente de variação; ns = não significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F.

Os teores de Se e dos macronutrientes nos grãos de soja avaliados entre os tratamentos não apresentaram significância (Tabela 13). A dose de 200 g ha<sup>-1</sup> de Se não foi suficiente para aumentar os teores deste nos grãos e que não houve a biofortificação dos grãos da soja pela adubação por Ts e foliar no milho. O mesmo ocorreu com a aplicação de 50% TS e 50% AF, cujo o teor de Se também não foi superior ao tratamento controle e a aplicação de 100% de Se via TS.

Tabela 13 - Teores de macronutrientes e de Se nos grãos de soja (variedade FOOCO IPRO) safra 2020/2021 em função da aplicação de Se via foliar e/ou tratamento de sementes e controle sem adubação no milho safrinha 2020

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Se	
			----- g kg <sup>-1</sup> -----					mg kg <sup>-1</sup>
Controle	62,13	7,31	17,53	5,32	2,60	6,69	0,058	
100% TS	60,82	8,29	14,24	4,25	2,66	5,53	0,159	
TS e AF	61,25	6,80	13,30	4,64	2,48	5,62	0,195	
100% AF	61,04	6,63	12,99	4,56	2,58	6,86	0,049	
VR*	59,20	5,50	18,80	2,90	2,30	3,00		

TS = Tratamento de sementes; AF = Adubação foliar em V4. \* VR = Valor de referencia = nível adequado (Bataglia e Mascarenhas, 1977).

A possível explicação para não ter tido efeito residual de Se no solo, foi também mencionada por Stroud et al. (2010), os autores citaram que quando pequenas doses de selênio são aplicadas no solo, não há acúmulo significativo de Se neste devido as perdas do nutriente por lixiviação. A explicação é que devido o selenato ser uma molécula aniônica e há dificuldade de retenção nas superfícies coloidais do solo, facilmente o Se será lixiviado.

Resultados positivos de biofortificação advindos de efeito residual foram encontrados por Corbo (2014). O autor avaliou os teores de Se nos grãos de milho pela adubação residual do selênio realizada na cultura do feijão, com aplicação de selênio via solo em duas doses, correspondentes a 50 g ha<sup>-1</sup> e 500 g ha<sup>-1</sup> de Se. A dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de selênio aplicada no feijão promoveu a biofortificação de Se nos grãos e também aumento da produção vegetal, com maior produtividade. O milho com Se pode se tornar um alimento biofortificado, podendo contribuir para o seu aumento em até 18% da ingestão diária recomendada para este elemento (CORBO, 2014).

Em trabalho avaliando o efeito residual de Se na cultura de capim mombaça após aplicação de Se em feijão comum, na dose de 0,8 mg dm<sup>-3</sup> de Se com selenato de sódio no solo, Stroud et al. (2010), encontraram aumento de Se na parte aérea do capim, confirmando biofortificação pelo residual de Se no solo.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados indicam que a aplicação de Se via foliar incrementa os seus teores nas folhas de milho em R<sub>1</sub> e conseqüentemente nos grãos na época da colheita.

Os maiores teores de Se nos grãos de milho são obtidos com sua aplicação em 100% via foliar, na dose de 500 g ha<sup>-1</sup> de selenato de sódio.

Para a biofortificação de milho com Se utilizou-se a dose de 200 g ha<sup>-1</sup> na forma de selenato de sódio via foliar, o que expressou melhores resultados.

A aplicação de selenato de sódio, independentemente do modo de aplicação não deixou residual de Se para a cultura subsequente para biofortificar os grãos.

A aplicação foliar de Se ocasionou sintomas de fitotoxidez nas folhas, porém não afetou a produtividade do milho.

## REFERÊNCIAS

- ASHER, C. J.; BUTLER, G. W.; PETERSON, P. J. **Selenium transport to roots system of tomato.** *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 28, n. 2, p. 279-291, 1977.
- BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A. **Absorção de nutrientes pela soja.** Campinas: Instituto Agrônomo, 1977. 36p. (Boletim Técnico, 41).
- BOLDRIN, P. F. **Biofortificação agrônômica com selênio em arroz. 2011.** 63p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras.
- BOYD, Russell. **Selenium stories.** *Nature chemistry*, v. 3, n. 7, p. 570, 2011.
- BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; BRYSON, R. J.; MEACHAM, M. C.; BOWEN, H. C.; JOHNSON, S. E.; HAWKESFORD, M. J.; McGRATH, S. P.; ZHAO, F. J.; ZREWARD, N.; HARRIMAN, M.; TUCKER, M. **Biofortification of UK food crops with selenium.** *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 65, p. 169-181, 2006.
- CARTES, P.; GIANFREDA, L.; MORA, M.L. **Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms.** *Plant soil*, v. 276, p. 359-367. 2005.
- CONAB. **Abastecimento Social – Programa de Vendas em Balcão (ProVB).** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/abastecimento-social/vendas-em-balcao/>. Acesso em: Julho de 2020.
- CORBO, J.Z.F. **Biofortificação do feijão e do milho com selênio. Dissertação de Mestrado (Agricultura Tropical e Subtropical)** do Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2014. 52p.
- CORREIA, A.A.D. **Bioquímica nos solos, nas pastagens e forragens.** Lisboa: Fund. Calouste Gulbenkian, p. 240-254, 1986.
- DUARTE, A. P.; ABREU, M. F.; FRANCISCO, E. A. B.; GITTI, D. C.; BARTH, G.; KAPPES, C. Reference values of grain nutrient content and removal for corn. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, 2019.
- DUTRA, A. F.; **Selênio no desempenho fisiológico e biofortificação agrônômica da couve-flor.** 2011. 81 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2017.
- EL KASSIS, E. et al. Characterization of a selenate-resistant Arabidopsis mutant. Root growth as a potential target for selenate toxicity. *Plant Physiology*, n. 143, p. 1231-1241, 2007.
- EMBRAPA - Solos, 2018. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 5a ed., Brasília: EMBRAPA Solos, 356p.

EMBRAPA SOJA, Embrapa Cerrados & Embrapa Agropecuária Oeste (2010) Tecnologias de produção de soja – região Central do Brasil 2011. Londrina. 255p. (Sistemas de produção, 14).

EICHHOLZER, M. Micronutrient deficiencies in Switzerland: causes and consequences. *Journal of Food Engineering*, v. 56, n. 2-3, p. 171-179, fev. 2003.

EUROLA, M.; ALFTHAN, G.; ARO, A.; EKHOLM, P.; HIETAMNIEMI, V.; RAINIO, H.; RANKANEN, R.; VENALAINEN, E. Results of the Finnish selenium program 2000-2001. 2003. 45p. Disponível em: . Acesso em: 3 mar. 2013. (Agrifoodresearch reports, 36).

FARIA, L.A.; KARP, F.H.S. **Selênio, um elemento essencial para o homem e os animais e benéfico às plantas**. Piracicaba: IPNI, 2017 (informativotécnico (internet)).

FARIA, Leticia A.; KARP, Felipe H. S.; **Selênio: um elemento essencial ao homem e aos animais e benéfico às plantas**, *Informações Agronômicas* 2015, 144.

FERNANDES, K. F. M. **Biofortificação do arroz, dos brócolis e do rabanete com selênio e predição de sua disponibilidade no solo**. 2012. 49p. Dissertação (Mestrado em agricultura Tropical e Subtropical: Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2012.

FERNÁNDEZ-MARTINEZ, A.; CHARLET, L. **Selenium environmental cycling and bioavailability: a structural chemist point of view**. *Environmental Science Biotechnology*, Ashford, v.8, n.1, p.81-110, 2009.

FERREIRA, K. S.; GOMES, J. C.; BELLATO, C. R.; JORDÃO, C. P. **Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil**. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 11, n. 3, p. 172-177, 2002.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. *REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA*, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019

HAWRYLAK -NOWAK B. **Effect of selenium on selected macronutrients in maize plants**. *J Elem*. v.13, p.513 –519, 2008.

HAWRYLAK-NOWAK B. **Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions**. *Plant Growth Regul*. 2015; 70, 149–157.

HOPPER, J. & PARKER, D. **Plant availability of selenite and selenate as influenced by the competing ions phosphate and sulfate**. *Plant Soil*, 210:199-207, 1999.

ILBAS A. I.; YILMAZ, S.;AKBULUT M.; BOGDEVICH, O. (2012) **Uptake and distribution of selenium, nitrogen and sulfur in three barley cultivars subjected to selenium applications**, *Journal of Plant Nutrition* 35:442-452.

KOPSELL D.A., RANDLE W.M., MILLS H.A. **Nutrient accumulation in leaf tissue of rapid - -cycling Brassica oleracea responds to increasing sodium selenate concentrations.** J. Plant Nutr. v.23, n. 7, p.927 -935, 2000.

LENZ, M.; LENS, P. N. L. **The essential toxin: the changing perception of selenium in environmental sciences.** *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.12, n.12, .3620-3633, 2009 LI, H.- F.; LOMBI, E.; STROUD, J.L.; MACGRATH, S.P.; ZHAO, F. **Selenium speciation in soil and rice: influence of water management and Se fertilization.** *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.58, p.11837- 11843, 2010.

MALAVOLTA, E. **Selênio. Elementos de nutrição mineral de plantas.** Ed. Agronômica Ceres, p. 211-212, 1980.

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.

MASCARENHAS, H.A.A.; NAGAI, V.; BATAGLIA, O.C. Aplicação de micronutrientes em soja cultivada em solo de cerrado. *O Agrônomo*, Campinas, v.25, p.71-76, 1973.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 3 ed. Australia: Elsevier, 2012. 651p.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, v. 7, p. 405-410, 2002.

NASCIMENTO, C.S. **Biofortificação agrônômica da rúcula com selênio em sistema hidropônico** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018, 30p.

NASSER, V. G. **Biofortificação da cultura da batata com selênio.** 2015. 19f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba. 2015.

NEAL, R.H. **Selenium.** In: ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils.** 2.ed. New York: Wiley. p.260-283. 1995.

NUNES, M.F.P.N. **Efeito do enxofre na absorção de selênio em feijoeiro comum.** Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.54 p.

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*, Prague, v. 56, n. 12, p. 584–588, 2010.

RAMOS, S. J.; FRANQUIN, V.; ALMEIDA, H. J.; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, L. R. G.; BASTOS, C. E. A.; ÁVILA, P. A. **Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 4, p. 1347-1355, 2011.

RAMOS, S.J.; **Biofortificação, variação genotípica e metabolismo envolvendo selênio em plantas de alface e brócolis.** 2011. 116p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RIOS, J.J.; ROSALES, M.A.; BLASCO, B.; CERVILHA, L.; ROMERO, L. & RUIZ, J.M. **Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants.** Sci. Hortic., 116:248-255, 2008.

SEIXAS, Tércia G.; DO A KEHRIG, Helena. **O selênio no meio ambiente.** *Oecologia Brasiliensis*, v. 11, n. 2, p. 264-276, 2007.

SILVA, V.M., BOLETA, E.H.M., LANZA, M.G.D.B., LAVRES, J., MARTINS, J.T., SANTOS, E.F., SANTOS F.L.M., PUTTI, F.F., FURLANI JUNIOR, E., WHITE, P.J., BROADLEY, M.R., CARVALHO, H.W.P., REIS, A.R., 2018. **Physiological, biochemical, and ultrastructural characterization of selenium toxicity in cowpea plants.**

STROUD, J. L.; M. R. BROADLEY.; I. FOOT.; S. J. FAIRWEATHER-TAIT.; D. J. HART.; R. HURST.; P. KNOTT.; H. MOWAT.; K. NORMAN.; P. SCOTT.; M. TUCKER.; P. J. WHITE.; S. P. MCGRATH.; F. J. ZHAO. **Soil factors affecting selenium concentration in wheat grain and the fate and speciation of Se fertilisers applied to soil.** Plant and Soil, The Hague, v. 332, n. 1-2, p. 19-30, 2010.

TURAKAINEN, M.; HARTIKAINEN, H.; SEPPÄNEN, M. M. **Effects of Selenium Treatments on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Growth and Concentrations of Soluble Sugars and Starch.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 52, n. 17, p. 5378-5382, 2004.

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, 2008. p. 287-309.

WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R. Biofortifying crops with essential mineral elements. Trends in Plant Science, v.10, n.12, p.586-593, 2005.

ZANCUL, M. S. **Fortificação de alimentos com ferro e vitamina A.** Revista USP, Medicina, Ribeirão Preto, v. 37, n. 1/2, p. 45-50, 2004. Disponível em: . Acesso em: 9 abril. 2021.

ZHANG, P. C.; SPARKS, D. L. **Kinetics of selenate and selenite adsorption/ desorption at the goethite/ water interface.** Environmental Science & Technology, Easton, v. 24, n.12, p.1848-1856, 1990.

ZHANG, Y.L.; PAN, G.X.; CHEN, J.; HU, Q. **Uptake and transport of selenite and selenate by soybean seedlings of two genotypes.** Plant and Soil, v.253, p.437- 443, 2003.