



ANA FLÁVIA TEIXEIRA MENEZES

**PRODUÇÃO DA ALFACE CULTIVADA SOB EFEITO RESIDUAL DO
SELÊNIO E ENXOFRE APLICADO NA CEBOLA**

LAVRAS – MG

2021

ANA FLÁVIA TEIXEIRA MENEZES

**PRODUÇÃO DA ALFACE CULTIVADA SOB EFEITO RESIDUAL DO
SELÊNIO E ENXOFRE APLICADO NA CEBOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Agronomia, para
a obtenção do título de Bacharel.

Profª. Dra. Maria Ligia de Souza Silva
Orientadora

LAVRAS – MG

2021

ANA FLÁVIA TEIXEIRA MENEZES

**PRODUÇÃO DA ALFACE CULTIVADA SOB EFEITO RESIDUAL DO
SELÊNIO E ENXOFRE APLICADO NA CEBOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Agronomia, para
a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 17 de novembro de 2021.

Amanda Santana Chales	UFLA
Ane Caroline Melo Ferreira	UFLA
Cynthia de Oliveira	UFLA

Profa. Dra. Maria Ligia de Souza Silva
Orientadora

LAVRAS – MG

2021

Aos meus pais, Lúcia e Nei, este trabalho é dedicado a vocês que foram minha base, meu alicerce, meus pilares. Sem vocês eu nada seria.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Nada mais certo quanto ao final de mais um ciclo, do que a apresentação desta monografia. Gratidão é a palavra capaz de definir todo meu processo de graduação.

Gostaria de agradecer a professora Maria Ligia, pela orientação e apoio.

Fabício, meu amigo, irmão, sou extremamente grata por compartilhar e contar com você em minha vida, você foi um presente que a UFLA me deu, tenho muito orgulho de você.

Agradeço a República Toda Boa pela convivência e irmandade, vocês foram a grande responsável pelo meu crescimento pessoal.

Em meio aos turbilhões de sentimentos que me acompanham diante de incertezas de um futuro tão próximo, agradeço ao meu namorado por saber lidar com o melhor e pior de mim e por me incentivar sempre.

Aos meus pais Lúcia e Nei, obrigada por acreditarem em mim e não medir esforços para que meus sonhos se tornem realidade.

Aos meus irmãos, Amanda e Alan, obrigada pelo amor e companheirismo.

Obrigada a todos que contribuíram para a realização desta etapa.

RESUMO

A sucessão de culturas proporciona o aproveitamento do fertilizante residual, promovendo assim melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados nas culturas. Sendo assim, objetivou-se avaliar o efeito residual da adubação com Se e S realizada para plantas de cebola, na produção de plantas de alface. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG. O delineamento experimental adotado no cultivo da cebola foi em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 x 5, sendo três doses de S (0, 40 e 80 mg dm⁻³) e cinco doses de Se (0; 0,3; 0,6; 1,2 e 2,4 mg dm⁻³), com três repetições. Após a colheita da cebola, foi realizado o transplântio das mudas de alface crespa, cv. Verônica, as quais durante o cultivo não receberam adubação. Foram utilizados vasos contendo 4 dm³ de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico, textura média. Ao final do experimento foram avaliados a massa fresca e massa seca da parte aérea, a massa seca das raízes, o teor e acúmulo de S e Se. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (teste de F, $p \leq 0,05$) e teste de médias (Scott-Knott, $p \leq 0,05$) e quando houve significância, foi realizada análise de regressão com o auxílio do software SISVAR. O efeito residual da adubação utilizada para as plantas de cebola não limitou o desenvolvimento das plantas de alface até a dose de 0,6 mg dm⁻³ de Se. Quando houve aplicação de S, as doses de Se não influenciaram na produção de massa fresca e seca da parte aérea. Quando não aplicou S, a dose de 1,2 mg dm⁻³ de Se favoreceu a absorção do nutriente presente no solo. A absorção de Se foi maior na ausência de S, exceto na dose de 2,4 mg dm⁻³ de Se, onde os teores foram semelhantes. Desse modo, esses resultados podem contribuir para determinar doses de Se a serem utilizadas na adubação básica para hortaliças, de forma a explorar seu efeito benéfico e residual, aumentando a eficiência de uso dos fertilizantes e a produção de alimentos mais nutritivos.

Palavras – chave: nutrição de plantas, efeito residual, biofortificação.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	08
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1	Cultura da alface.....	10
2.2	Biofortificação agrônômica com selênio	10
2.3	Selênio e seu efeito benéfico para as plantas.....	11
2.4	Selênio no solo.....	12
2.5	Enxofre na planta.....	13
2.6	Enxofre no solo.....	14
2.7	Interação S e Se.....	15
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1	Condições de cultivo.....	17
3.2	Delineamento experimental.....	17
3.3	Correção do solo, adubação e cultivo da cebola.....	17
3.4	Cultivo da alface.....	18
3.5	Colheita da alface.....	18
3.6	Determinação do Se e S.....	19
3.7	Análise estatística.....	19
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1	Massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e massa seca das raízes... 	20
4.2	Teor e acúmulo de S na parte aérea.....	21
4.3	Teor e acúmulo de Se na parte aérea.....	23
5.	CONCLUSÃO	25
6.	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	26

1. INTRODUÇÃO

Os alimentos são a fonte primária de nutrientes e sua demanda cresce com o aumento da população mundial. Entretanto, além de aumentar a produção de alimentos, uma grande preocupação atual é quanto à qualidade nutricional destes, já que pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento, vem apresentando carência nutricional de ferro (Fe), iodo (I), selênio (Se), zinco (Zn) e vitamina A, (REIS et al., 2014).

O selênio (Se) é essencial para o metabolismo humano e animal, sendo constituinte de proteínas, desempenhando função antioxidante, além de auxiliar na prevenção de doenças, como o câncer (RAMOS et al., 2011; DUNTAS e BENVENGA, 2015). Estima-se que 15% da população mundial apresente deficiência em Se devido ao consumo de alimentos com baixa concentração do elemento, e este fato pode ser atribuído ao seu baixo teor nos solos (HAWRYLAK-NOWAK, 2013).

Embora não seja considerado um nutriente para as plantas, o Se apresenta efeitos benéficos quando absorvido pelas plantas, aumentando a atividade antioxidante e, conseqüentemente, a produtividade das culturas (WANG et al., 2013). Dessa forma, considerando o baixo teor de Se nos solos e que as plantas são fontes primárias para a entrada de Se na cadeia alimentar, a biofortificação agrônômica é uma das principais alternativas para aumentar a biodisponibilidade do Se nos alimentos (MALAGOLI et al., 2015; WU et al., 2015).

O enxofre (S) é essencial para as plantas, desempenhando papel fundamental na nutrição e produção das culturas agrícolas. Entretanto, devido à similaridade química do elemento com as formas de Se, os dois elementos tendem a competir em processos como absorção, translocação e assimilação pelas plantas (HUANG et al., 2008).

A absorção de grandes quantidades de Se pelas plantas pode levar a substituição do S pelo Se em aminoácidos essenciais, mudando a conformação de proteínas, formando selenometionina e selenocisteína que produzem efeitos tóxicos, resultando na destruição de um número importante de proteínas estruturais e funcionais (PILON-SMITS e LEDUC, 2009).

Com a sucessão de culturas é possível o aproveitamento de fertilizante residual aplicado na cultura anterior. Dessa forma, com o intuito de avaliar o efeito residual da aplicação de selênio via solo no processo de biofortificação, a alface apresenta como uma espécie em potencial, sendo uma das mais consumidas em todo o território nacional, estando

entre as principais hortaliças, no que se refere à produção, à comercialização e ao valor nutricional (NASCIMENTO, 2016; COSTA et al., 2018).

Diante do exposto, faz-se necessário realizar pesquisas para verificar qual a hortaliça mais adequada para o cultivo, visando aproveitar o residual da adubação feita para a cultura anterior. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito residual das doses de Se e S, aplicadas ao sol na condução de plantas de cebola, na produção de plantas de alface.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta anual, pertencente à família Astereceae, com centro de origem na Bacia Ocidental do Mediterrâneo e trazida para o Brasil pelos portugueses no século XVI. É uma cultura de clima temperado, com folhas de cores verdes até cores mais arroxeadas, estando presas a um pequeno caule e possui uma raiz superficial (FILGUEIRA, 2003).

A cultura apresenta ciclo de produção curto, variado entre 60 e 80 dias compreendidos entre a sementeira e a colheita, apresentando possibilidade de cultivo sucessivo, com produção garantida o ano todo e rápido retorno econômico (MEDEIROS et al., 2007). A hortaliça é cultivada principalmente por pequenos produtores e pela agricultura familiar, o que assegura uma grande importância socioeconômica (VILLAS BOAS et al., 2004).

A cultura da alface é a mais popular das hortaliças folhosas, sendo cultivada em quase todas as regiões do mundo. No Brasil, apresenta grande importância comercial, principalmente devido ao seu vasto consumo em todo o território nacional, estando entre as principais hortaliças, no que se refere à produção, à comercialização e ao valor nutricional, sendo uma ótima fonte de vitaminas e minerais (NASCIMENTO, 2016; COSTA et al., 2018).

Atualmente, diante da onda de obesidade que põe em alerta os órgãos de saúde pública, a busca por hábitos alimentares mais saudáveis junto à população brasileira tem se tornado crescente. Diante disso, projeções apontam um aumento na demanda nacional de hortaliças, favorecendo especialmente as folhosas, como alface, repolho, rúcula, couve e agrião, entre mais de 50 variedades de verduras (REETZ et al., 2014).

Nesse sentido, devido à importância comercial e socioeconômica da cultura, ao aumento do consumo de hortaliças, a biofortificação com Se em alface é uma excelente alternativa para introduzir o nutriente na alimentação da população, visto que a cultura de fácil acesso e amplo consumo no país.

2.2 Biofortificação de alimentos com selênio

Projeções apontam que até o ano de 2050 será necessário dobrar a produção de alimentos para suprir a demanda da população mundial, estimada em 9,5 bilhões de pessoas (ONU, 2018). Diante desse cenário, o uso de tecnologias como corretivos, fertilizantes, defensivos e cultivares mais produtivas, tem possibilitado aumentar a produtividade das culturas. Entretanto, observa-se uma relação inversa entre a quantidade e a qualidade

nutricional dos alimentos produzidos (WHITE e BROADLEY, 2009; LYONS e CAKMAK, 2012).

Estima-se que 1 bilhão de pessoas sofram da baixa ingestão de Se ao redor do mundo (JONES et al., 2017). A deficiência do nutriente no organismo está relacionada ao desenvolvimento de doenças cardiomopáticas, hipotireoidismo, redução da fertilidade, redução da atividade do sistema imunológico, asma e inflamações diversas. A função nutricional do Se é exercida principalmente por selenoenzimas e selenoproteínas como a enzima GSH, que está envolvida na proteção antioxidante, a tiorredoxina redutase que tem regulação redox e a iodotironina 5'-deiodinase, que está envolvida na regulação hormonal e metabolismo (HATFIELD et al., 2014).

Em virtude disso, a biofortificação com Se está sendo estudada como alternativa para combater a desnutrição. A técnica de biofortificação agrônômica consiste em aumentar os teores dos elementos nos vegetais, através de sua disponibilização na forma de adubos fornecidos via solo ou foliar (CHEN et al., 2009; BROADLEY et al., 2010).

Segundo Rayman (2004), a recomendação para a ingestão média diária de Se, varia entre 60 µg para homens e 53 µg para mulheres. Entretanto, o intervalo entre a deficiência e toxicidade para os seres humanos é muito estreito, desse modo, ingestão diária superiores a 400 µg resulta na perda de cabelo, unhas, lesões na pele, paralisia, distúrbios gastrointestinais e até a morte em casos graves (FORDYCE, 2007; PAUL e DEY, 2014).

2.3 Selênio e seu efeito benéfico para as plantas

O Se é um elemento benéfico às plantas, auxiliando no crescimento e diminuindo os efeitos dos estresses bióticos ou abióticos. Entretanto, a presença de altas concentrações do elemento na planta causa toxidez, ativando reações oxidativas (TURAKAINEM et al, 2005; PILON-SMITS et al., 2010).

Estudos têm demonstrado que em condições de estresses, a aplicação de Se aumenta a atividade de enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX) e peroxidase (POD), que atuam no combate aos danos às membranas celulares ocasionado pelas espécies reativas de oxigênio (EROs) (PENNANEN et al., 2002; NAWAZ et al., 2015).

O Se pode ser absorvido pelas raízes na forma inorgânica como selenato (SeO_4^{2-}), selenito (SeO_3^{2-}), na forma orgânica como os aminoácidos selenometionina (SeMet) e selenocisteína (SeCys) e também por meio das formas voláteis do elemento como di-metil seleneto (DMSe) e di-metil di-seleneto (DMDS₂Se). O selenato, é absorvido pelas raízes por

meio dos transportadores de sulfato de alta afinidade. Por outro lado, o selenito é absorvido pelas raízes por meio de transportadores fosfatos (LI et al., 2008; WHITE et al., 2004).

As espécies vegetais diferem quanto à sua capacidade de acumular Se, sendo divididas em três grupos: plantas não acumuladoras, acumuladoras e hiperacumuladoras (ELLIS e SALT, 2003).

As não acumuladoras, a destacar as gramíneas, apresentam teores inferiores a 50 mg kg⁻¹ de Se em sua matéria seca (GALEAS et al., 2007; BODNAR et al., 2012; WINKEL, et al., 2015). Essas plantas não toleram altas concentrações de Se e o excesso nos tecidos vegetais causam sintomas que incluem clorose, retardo no crescimento, murchamento das folhas e morte da planta (WHITE, 2016).

Plantas acumuladoras, como várias espécies das famílias Asteraceae, Brassicaceae e Fabaceae, crescem adequadamente em solos ricos em Se e acumulam teores que variam de 50 a 1000 mg kg⁻¹ de Se na massa seca, sem sofrer nenhuma consequência (PILON-SMITS e LEDUC, 2009). As espécies hiperacumuladoras de Se são utilizadas como fitorremediadoras e podem acumular até 15 000 mg kg⁻¹ na matéria seca quando crescidas em condições naturais (SAHA et al., 2017).

2.4 Selênio no solo

O Se apresenta propriedades químicas similares as do S, com característica metaloide e pode ser encontrado em diferentes estágios de oxidação como seleneto (Se²⁻), selênio elementar (Se⁰), selenito (Se⁴⁺) e selenato (Se⁶⁺), sendo o selenato (SeO₄²⁻) e o selenito (SeO₃²⁻) as formas predominantes de Se em solos cultivados (FELLOWES et al., 2013).

A disponibilidade do Se para as plantas está relacionada à dinâmica das espécies químicas de Se no solo, que por sua vez, sofrem influências de fatores como o potencial redox, pH, teores de óxidos de Fe e Al e pelo conteúdo de argila e matéria orgânica (WANG e CHEN, 2003).

O selenato é a forma mais solúvel, móvel e biodisponível, uma vez que é fracamente adsorvido pelas superfícies das partículas do solo, principalmente em condições de solos oxidantes e alcalinos. Por outro lado, o selenito é adsorvido mais fortemente via complexo de esfera interna em solos argilosos e com elevadas concentrações de óxidos de Fe e Al, reduzindo sua disponibilidade para as plantas (GOH e LIM, 2004; LESSA et al., 2016; ARAUJO et al., 2018).

Os solos que apresentam teores de Se inferiores a 0,5 mg kg⁻¹ de solo seco são considerados deficientes (MILLAR, 1983). Segundo Carvalho (2011), os solos do Cerrado

brasileiro, a exemplo os latossolos, apresentam teores do elemento entre 0,02 e 0,08 mg kg⁻¹. Faria (2009) obteve valores inferiores a 0,3 mg kg⁻¹ em 8 tipos de solos do estado de São Paulo. Segundo Gabos (2012) e Silva et al. (2012), os solos dos estados de São Paulo e Minas Gerais apresentam, respectivamente, teores que variam de 0,09 a 1,61 mg kg⁻¹ e 0,05 a 2,14 mg kg⁻¹.

As baixas concentrações podem resultar em baixos níveis de Se nas plantas e, conseqüentemente, baixa ingestão de Se pelos humanos e animais que se alimentam dessas plantas (DURÁN et al., 2013). Nesse sentido, a biofortificação agrônômica, com aplicação de Se no solo por meio de fertilizantes, é uma importante ferramenta para aumentar a concentração do elemento nas plantas, e conseqüentemente, nos alimentos, contribuindo para a redução da carência nutricional em Se.

2.5 Enxofre na planta

O enxofre (S) é um elemento essencial para as plantas, fazendo parte da constituição de aminoácidos, proteínas, moléculas de cloroplasto, coenzimas, sulfolipídeos, flavonóides, lipídeos, glucosinolatos, polissacarídeos, compostos não saturados, compostos reduzidos entre outras funções metabólicas (STIPP e CASARIN, 2010).

Além disso, desempenha funções essenciais ao desenvolvimento e à qualidade da produção, participando desde a constituição fisiológica, controle hormonal, fotossíntese até os mecanismos de defesa da planta, contribuindo na proteção contra pragas e doenças (CÉSAR, 2012).

O sulfato (SO₄²⁻) é a principal fonte de S para as plantas e representa a forma mais estável do elemento no solo. A entrada do nutriente nas plantas ocorre pelo contato do ânion SO₄²⁻ presente na solução do solo com a membrana plasmática das raízes. Nas raízes, o S é absorvido por transportadores de sulfato e transportado para a parte aérea via xilema, onde é assimilado a formas orgânicas (TAMAOKI et al., 2008).

Antes da assimilação a compostos orgânicos, o S, através da ação da enzima ATP sulfúrilase é convertido em 5'-adenililsulfato ou adenosina-5'-fosfosulfato (APS). A APS, por sua vez, é reduzida pela APS redutase ou adenilil-sulfato redutase (APR) a sulfito (a APR transfere dois elétrons da GSH para produzir o sulfito). Na sequência a sulfito redutase transfere elétrons da ferredoxina (Fdred) para produzir sulfeto (S²⁻) e este por sua vez reage com O-acetilserina (OAS) para formar os compostos orgânicos cisteína e acetato (KOPRIVA, 2006).

O sintoma de deficiência de S se apresenta como uma clorose uniforme, com início nas folhas mais novas. A deficiência neste nutriente interrompe a síntese de proteínas, devido à mesma estar relacionada com a atividade da redutase do nitrato, reduzindo assim, o aproveitamento do N pela planta; diminuindo a fotossíntese e a atividade respiratória (VITTI et al., 2006).

O requerimento de S pelas culturas varia conforme a espécie e com a produtividade desejada, sendo que as plantas mais exigentes são aquelas que apresentam maiores teores de proteína (ALVAREZ et al., 2007; RHEINHEIMER et al., 2005). Em média, os teores de S na planta variam entre 2 a 5 g kg⁻¹ de matéria seca. Os teores foliares variam pouco em plantas bem nutridas, em geral situando-se entre 2 a 4 g kg⁻¹ de matéria seca (RAIJ, 2017).

Nas hortaliças, é o S que proporciona o aroma e sabor de alimentos como o alho, cebola e mostarda, em função do bissulfeto de alila. Além disso, é responsável pelas enzimas proteolíticas que proporcionam o sabor das frutas, dessa forma, sua carência deixa os alimentos com sabor aguado (VITTI et al., 2015).

2.6 Enxofre no solo

Na natureza, o enxofre (S) pode ser encontrado na forma orgânica e inorgânica, contudo, o S presente na fração orgânica representa mais de 90% do total do elemento no solo. As principais formas de entrada de S no solo são o intemperismo de minerais sulfurados, águas pluviais e irrigação, deposição atmosférica, adição de pesticidas, fertilizantes minerais e orgânicos (ALVAREZ et al., 2007).

Entretanto, o cultivo intensivo em solos com baixo teor de matéria orgânica, exportação de nutrientes pela cultura sem que seja realizado a reposição, lixiviação, erosão e emissão de gases sulfurados, causam deficiência e conseqüentemente uma redução na produção dos cultivos subsequentes (ALVAREZ et al., 2007).

As reservas naturais de S orgânico nos solos dependem basicamente dos teores e tipos de argilominerais e óxidos e das condições ambientais que aceleram ou retardam a atividade biológica. Aproximadamente 50% da área total dos solos tropicais e subtropicais da América podem ser considerados deficientes em S (SIQUEIRA, 2018).

A disponibilidade de S orgânico para as plantas depende de sua transformação a formas inorgânicas, principalmente na forma de sulfato (SO₄⁻²), o qual é retido pelos grupos funcionais dos colóides inorgânicos do solo (COSTA, 1980).

O sulfato, por apresentar uma energia de ligação fraca ao solo, sua percolação no perfil pode ter como consequência a lixiviação de bases trocáveis. Desse modo, comporta-se como

o ânion acompanhante responsável pelo movimento vertical de cátions no solo, reduzindo a disponibilidade de S para as plantas (CASTRO et al., 2013).

Solos intemperizados, com teores elevados de óxidos de Fe apresentam alta capacidade de retenção de SO_4^{2-} , tornando a sua movimentação no perfil mais lenta, quando comparados a solos com teores menores de argila. Em solos arenosos ou poucos intemperizados, o SO_4^{2-} tende a deslocar-se mais rapidamente para os horizontes subsuperficiais, ou mesmo, sair do sistema solo por lixiviação (BASSO et al., 2015).

2.7 Interação enxofre e selênio

Devido a semelhança química entre Se e S, o ânion selenato (SeO_4^{2-}) é absorvido, translocado e assimilado pelas vias metabólicas do ânion S (SO_4^{2-}). Desse modo, o Se pode substituir o S na síntese de aminoácidos como cisteína e metionina, formando selenocisteína e selenometionina. Entretanto, o sulfato presente na rizosfera pode inibir a absorção de Se pelas raízes por competição direta por transportadores, podendo reduzir significativamente a concentração de Se na parte aérea das plantas (WHITE et al., 2004; SCHIAVON et al., 2015; LIU et al., 2017, GUPTA e GUPTA, 2017).

Por outro lado, estudos mostram que baixas concentrações de Se podem aumentar a absorção de S nas plantas, sugerindo que o aumento da acumulação de S por tratamentos com selenato é devido sua ação em mimetizar a privação de S para estimular a expressão de transportadores de sulfato que são regulados sob deficiência de S (BOLDRIN et al. 2016; CABANNES et al. 2011; HARRIS et al. 2014).

Harris et al. (2014) observaram que altas concentrações de selenato em solução tem a capacidade de regular esses transportadores de sulfato, aumentando a absorção de S em *Brassica juncea*. A diminuição na disponibilidade de sulfato resulta na multiplicação e na expressão de genes transportadores de sulfato, aumentando a capacidade de absorção de sulfato e conseqüentemente a absorção de selenato (WHITE et al., 2004; SCHINMACHI et al., 2010; BOLDRIN et al., 2016).

Ramos et al. (2011) observaram um aumento no teor de S em folhas de alface quando estas foram cultivadas em solução nutritiva com 15 μM de Na_2SeO_4 . Golob et al., (2016) observaram em experimento de campo que o sulfato facilitou a absorção de selenato em plantas de trigo mourisco, quando foi aplicado 126 μM de cada um destes elementos via adubação foliar.

Mackowiak & Amacher (2008) observaram em experimento de campo, que a aplicação de sulfato de cálcio pode inibir a absorção de Se em plantas de alface e azevém cultivadas em solos com elevada concentração de Se.

Santiago et al. (2018) observaram maiores teores de Se na forma de selenato na MSPA e em frutos de morango, nos tratamentos sem adição de S em comparação aos tratamentos com 60 mg dm^{-3} de S, em experimento conduzido em vasos em casa de vegetação.

Devido à semelhança estrutural entre o Se e S, a absorção de grandes quantidades de Se pelas plantas gera uma competição entre esses elementos no interior da planta. Dessa forma, o Se pode substituir o S em aminoácidos essenciais, mudando a conformação de proteínas, formando selenometionina e selenocisteína que produzem efeitos tóxicos, resultando na destruição de um número importante de proteínas estruturais e funcionais (PILON-SMITS E LEDUC, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condições de cultivo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no município de Lavras – MG (21° 14'43" S, 44° 59' 59" W, altitude de 919 m).

Foram utilizados vasos plásticos com capacidade de 4 dm³ de solo, preenchidos com um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (SANTOS et al., 2013), textura média. O solo foi coletado na camada de 0 - 20 cm de profundidade, seco ao ar e peneirado em malha de 4 mm. Posteriormente, sub-amostras foram tomadas para caracterização física e química (SILVA et al. 2009), a qual apresentou os seguintes resultados (Tabela 1):

Tabela 1. Características química e física de amostras do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico na profundidade de 0 a 20 cm.

pH	K	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H+Al	t	T	SB	V	m
H ₂ O	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----				-----			----- % -----	
4,9	26,0	0,3	0,1	0,3	2,1	0,8	2,6	0,5	19,2	37,5
P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	MO	Areia	Silte	Argila
----- mg dm ⁻³ -----				----- g kg ⁻¹ -----						
0,3	7,0	0,2	0,6	12,0	1,3	1,4	5,4	660	20	320

pH (água); Ca, Mg e Al (KCl 1mol L⁻¹); P, K, Fe, Zn, Mn e Cu (Mehlich 1); Acidez potencial (SMP); Matéria orgânica (Na₂Cr₂O₇ 4 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹) de acordo com metodologia de Silva (2009). Areia, silte e argila (Bouyoucos) modificado por Carvalho (1985).

3.2 Delineamento Experimental

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3, sendo cinco doses de Se (0, 0,3, 0,6, 1,2, 2,4 mg dm⁻³, como fonte o selenato de sódio) e três doses de S (0, 40, 80 mg dm⁻³, como fonte o sulfato de cálcio), com três repetições, totalizando 45 parcelas experimentais.

3.3 Correção do solo, adubação e cultivo da cebola

Com base na análise química do solo, foi efetuada a calagem para elevar a saturação por bases a 80%. Foi utilizado um calcário que continha 41% CaO, 10,9% de MgO e PRNT de 95%. Após a incubação do solo por 30 dias com umidade próxima de 60% do volume total de poros (VTP).

As doses de Se e de S foram aplicadas no solo juntamente com adubação básica de plantio com 25 de N, 150 de P e 30 de K, em mg dm^{-3} , utilizando como fonte a ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. A adubação com micronutrientes consistiu na aplicação de 1mg de B e 2 mg de Zn por dm^3 de solo, utilizando como fonte o ácido bórico e o sulfato de zinco, respectivamente.

As mudas de cebola (*Allium cepa* L. cultivar híbrida Diamantina) foram produzidas em bandejas de poliestireno com 128 células preenchidas com substrato comercial, sendo semeada uma semente por célula. Quarenta dias após a semeadura foi realizado o transplântio de uma muda por vaso.

Durante o período de cultivo, as plantas receberam duas aplicações de K e três aplicações de N, nas doses de 25 mg de N e 30 mg de K por dm^3 de solo, com ureia e cloreto de potássio, respectivamente. Durante a condução do experimento, a umidade do solo foi mantida próxima a capacidade de campo, repondo o volume evapotranspirado com água destilada. A colheita da cebola foi realizada aos 130 dias.

3.4 Cultivo da alface

As mudas de alface (*Lactuca sativa* L., cultivar Verônica, grupo solta crespa) foram produzidas em bandejas de poliestireno com 128 células preenchidas com substrato comercial, sendo semeada uma semente por célula. O transplântio das mudas foi realizado aos 15 dias após a semeadura, sendo uma planta por vaso. Durante o cultivo não foi realizada nenhuma adubação.

3.5 Colheita da alface

Após 45 dias as plantas foram cortadas rente ao solo, as quais foram pesadas para obter a massa fresca da parte aérea (MFPA), posteriormente foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação de ar forçado, à 65°C , até atingir massa constante para a quantificação da massa seca da parte aérea (MSPA). As plantas foram moídas em moinho tipo willey com peneira de 20 mesh e acondicionadas em sacos de papel, para posterior determinação dos teores de S e Se. As raízes foram lavadas, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação de ar forçado, à 65°C , até atingir massa constante para a quantificação da massa seca das raízes (MSR).

3.6 Determinação de selênio e enxofre

A extração do Se e S foi realizada através de digestão nítrico perclórica em bloco digestor (MALAVOLTA et al., 1997), adaptada apenas para a extração de Se. Para este último, as amostras foram digeridas em 6 mL de uma solução de ácido nítrico ($\text{HNO}_3 \geq 65\%$ p.a) e ácido perclórico ($\text{HClO}_4 \geq 69,72\%$ p.a) na proporção 2:1 (v/v).

A determinação do Se foi realizada por espectroscopia de absorção com atomização eletrotérmica em forno de grafite - ETAAS (Perkin Elmer, AAnalyst modelo AA 800, Midland, Canadá). A determinação do S foi realizada por turbidimetria (SILVA, 2009).

O acúmulo de Se e S foi obtido relacionando as concentrações dos elementos encontrados na parte aérea com a massa seca da parte aérea.

3.7 Análises estatísticas

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (teste de F, $p \leq 0,05$) e teste de médias (Scott-Knott, $p \leq 0,05$) com o auxílio do software SISVAR (FERREIRA, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

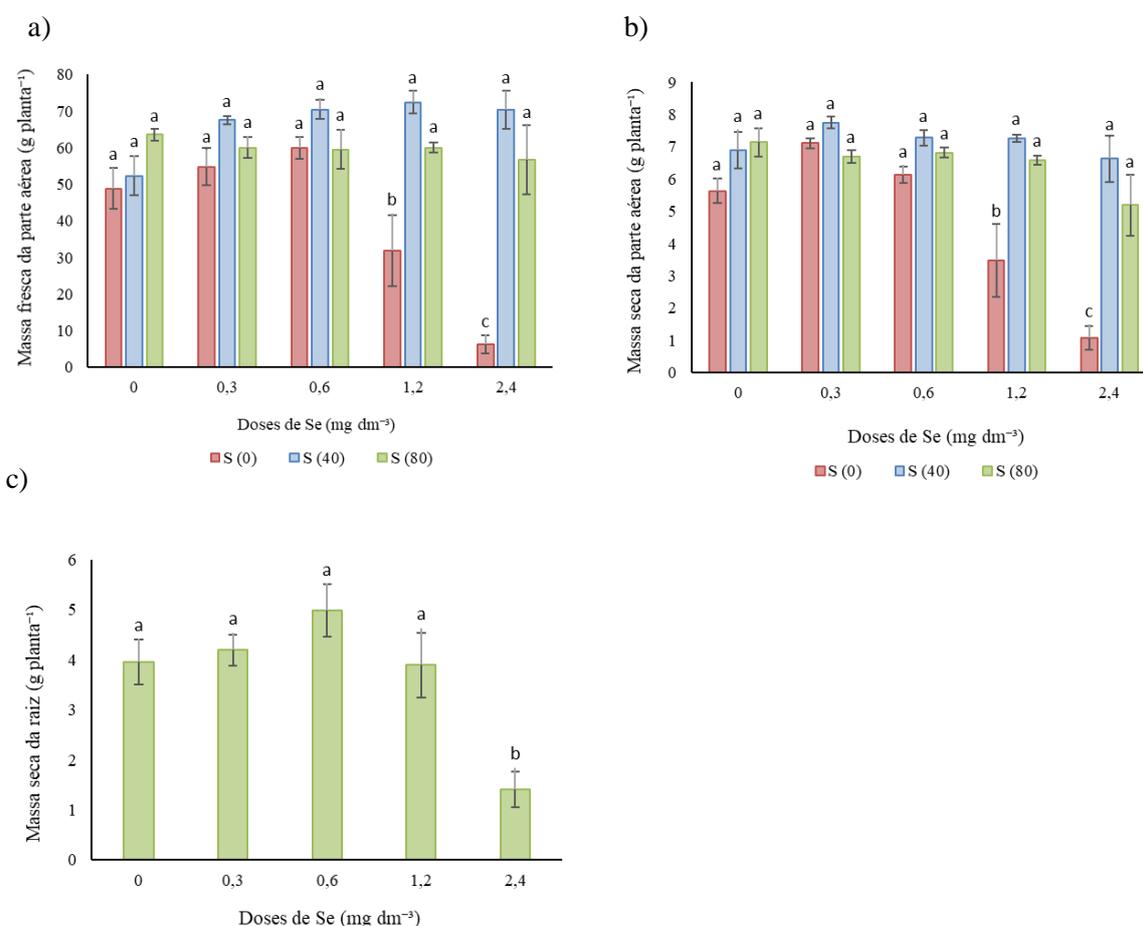
4.1 Massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e massa seca das raízes

A partir da análise de variância, pode-se observar que houve interação significativa ($P < 0,05$) entre as doses de S e Se para a MFPA e MSPA, enquanto a MSR apresentou efeito isolado em função das doses de Se ($P < 0,05$).

Quando não foi aplicado S, pode-se observar um aumento na MFPA (Figura 2a) e na MSPA (Figura 2b) até a dose de $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de Se. Nas doses de 40 e 80 mg dm^{-3} de S não houve diferença significativas quando foi aplicado doses crescentes de Se.

A produção de MSR foi influenciada somente pelas doses de Se, apresentando uma redução com a aplicação de $2,4 \text{ mg dm}^{-3}$ do elemento (Figura 2c). No entanto, as demais doses de Se estudadas não influenciaram na produção de MSR.

Figura 2. Massa fresca da parte aérea (a), massa seca da parte aérea (b) e massa seca das raízes (c) em função da interação S e Se.



Colunas de mesma cor, seguidas de mesma letra, não apresentam diferença significativa pelo teste de médias (Scott-Knott, $p \leq 0,05$). As barras de erro indicam o erro padrão da média ($n = 3$).

A menor produção de MFPA e MSPA da alface observada nas doses superiores a 0,6 mg dm⁻³ de Se pode ser atribuída ao efeito fitotóxico causado pela absorção de grandes concentrações do elemento. Segundo Han et al. (2013), a absorção de concentrações elevadas de Se promove uma redução da atividade oxidante, aumentando a atividade de espécies reativas de oxigênio (ERO) e a aceleração da peroxidação lipídica.

Além disso, devido à semelhança estrutural entre o Se e S, a absorção de grandes quantidades de Se pelas plantas gera uma competição entre esses elementos no interior da planta. O Se pode substituir o S em aminoácidos essenciais, mudando a conformação de proteínas, formando selenometionina e selenocisteína que produzem efeitos tóxicos, resultando na destruição de um número importante de proteínas estruturais e funcionais (PILON-SMITS e LEDUC, 2009).

Resultado similar foi obtido por Ramos e colaboradores (2012), em estudo com *Urochloa brizantha*, onde puderam observar um aumento na MSPA na dose 0,5 mg dm⁻³ de Se. Além disso, nesse mesmo trabalho puderam observar uma redução da MSPA conforme as doses de selenato aumentavam até a dose 6,0 mg dm⁻³ de Se.

4.2 Teor e acúmulo de S na parte aérea

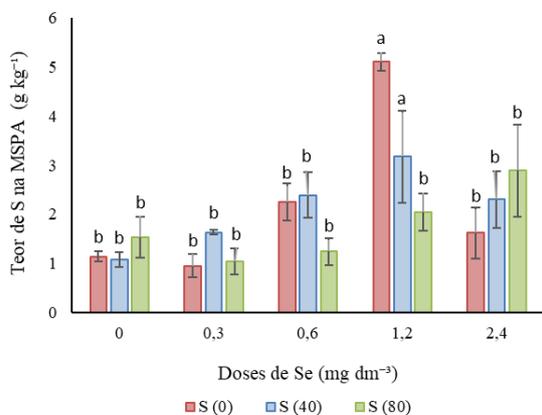
O teor de S na MSPA foi influenciado significativamente pela interação entre as doses de Se e S ($p < 0,05$), entretanto, para o acúmulo de S pode-se observar efeito isolado em função das doses de S e Se ($p < 0,05$).

Pode-se observar um aumento no teor de S até a dose de 1,2 dm⁻³ de Se quando não foi aplicado S (5,11 g kg⁻¹) e na dose de 40 mg dm⁻³ de S (3,17 g kg⁻¹). Desse modo, pode-se inferir que a aplicação de Se promoveu um aumento na absorção do S presente naturalmente no solo, ou seja, sem o seu fornecimento via adubação. Além disso, quando aplicou 40 e 80 mg dm⁻³ de S, não houve diferença significativa entre os teores de S a medida que doses crescentes de Se foram aplicadas (Figura 3a).

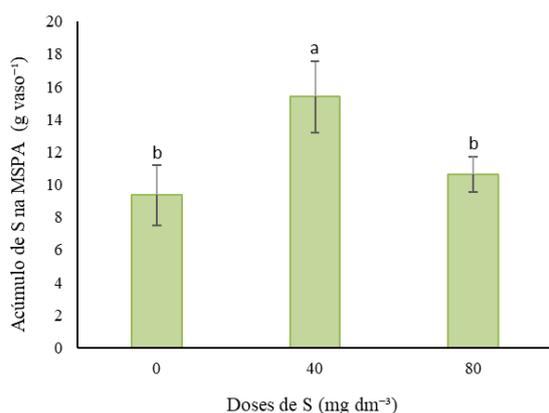
O acúmulo de um elemento depende do seu teor no tecido e, principalmente, da produção de massa seca, desse modo, o acúmulo está diretamente relacionado a estas duas variáveis. Dessa forma, pode-se observar maior acúmulo (15,37 g vaso⁻¹) com a aplicação de 40 mg dm⁻³ de S (Figura 3b). Esse resultado pode ser explicado pela maior produção de MSPA na dose de 40 mg dm⁻³ do nutriente. Já em relação as doses de Se, o acúmulo apresentou um aumento até a dose de 1,2 mg dm⁻³ de Se, com valor de 18,03 g vaso⁻¹ (Figura 3c), podendo ser explicado pelo maior teor de S obtido na mesma dose de Se e no tratamento sem aplicação de S.

Figura 3. Teor de S (a) na parte aérea em função da interação S e Se e acúmulo de S em função das doses de S (b) e Se (c).

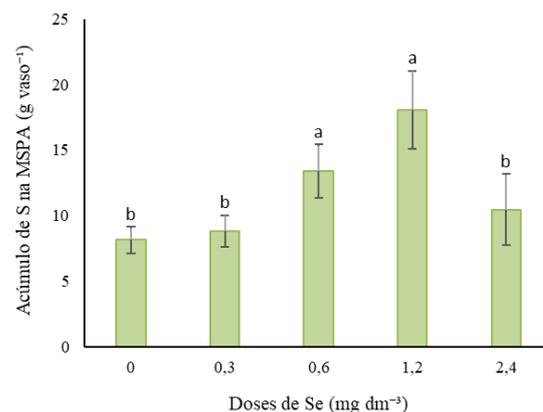
a)



b)



c)



Colunas de mesma cor, seguidas de mesma letra, não apresentam diferença significativa pelo teste de médias (Scott-Knott, $p \leq 0,05$). As barras de erro indicam o erro padrão da média ($n = 3$).

Segundo Boldrin et al. (2016), esse aumento nos teores de S na parte aérea, quando não foi realizada a aplicação de S, está possivelmente ligado a uma maior expressão dos genes transportadores de sulfato de alta afinidade presentes nas raízes.

A diminuição na disponibilidade de sulfato pelas raízes resulta na multiplicação e na maior expressão de genes transportadores de sulfato como forma de compensar a ausência de S, aumentando assim a capacidade de absorção de Se e consequentemente a absorção do S presente naturalmente no solo (SCHINMACHI et al., 2010).

Mackowiak & Amacher (2008) observaram em experimento de campo, que a aplicação de sulfato de cálcio pode inibir a absorção de S em plantas de alface e azevém cultivadas em solos com elevada concentração de Se.

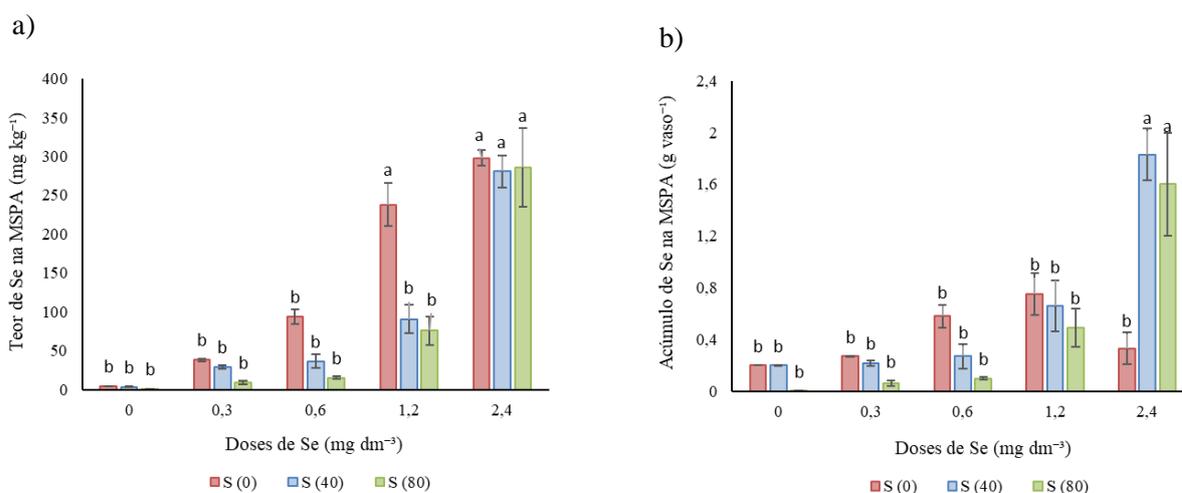
Similarmente, estudo realizado por Santiago et al. (2018), em experiemnto conduzido em vaso com morango, observaram que a concentrações de S na parte aérea e frutos de morango aumentou com a aplicação de Se para os tratamentos sem aplicação de S. Nesse mesmo estudo, quando foi aplicado 60 mg dm^{-3} de S, a concentração de S foi reduzida na parte aérea e nos frutos à medida que doses crescentes de Se foram aplicadas. Em relação ao acúmulo puderam observar que na dose de 60 mg dm^{-3} , as doses de Se não influenciaram no acúmulo de S na parte aérea do morangueiro.

4.3 Teor e acúmulo de Se na parte aérea

O teor e o acúmulo de Se na MSPA foram influenciados pela interação entre as doses de Se e S ($p < 0,05$). O teor de Se apresentou um incremento a medida que doses crescentes de Se foram aplicadas, entretanto foi maior quando não houve aplicação de S. Desse modo, pode observar um efeito inibitório no S na absorção de Se pelas plantas, exceto na dose de $2,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de Se (Figura 4a).

Pode-se observar que o acúmulo de Se foi maior com a aplicação de $2,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de Se, com valores de $1,8$ e $1,6 \text{ g vaso}^{-1}$, para as doses de 40 e 80 mg dm^{-3} de S, respectivamente (Figura 4b). Esse resultado pode ser explicado pela maior produção de MSPA nas doses de 40 e 80 mg dm^{-3} de S e pelo maior teor de Se obtido na dose de $2,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de Se, uma vez que o acúmulo está relacionado diretamente com estas duas variáveis.

Figura 4. Teor (a) e acúmulo (b) de Se na parte aérea em função da interação S e Se.



Colunas de mesma cor, seguidas de mesma letra, não apresentam diferença significativa pelo teste de médias (Scott-Knott, $p \leq 0,05$). As barras de erro indicam o erro padrão da média ($n = 3$).

Resultado semelhante foi encontrado por Santiago et al. (2018), em experimento conduzido em vasos com a cultura do morangueiro, onde observaram maiores teores de Se na MSPA e em frutos de morango nos tratamentos sem adição de S em comparação aos tratamentos com 60 mg dm^{-3} de S. Em relação ao acúmulo do elemento, puderam observar que houve uma redução com a aplicação de 60 mg dm^{-3} de Se, quando comparado ao tratamento sem aplicação de S. Segundo os autores, o S apresentou efeito inibitório na absorção de Se pela cultura, diminuindo os teores de Se na MSPA e nos frutos de morango em aproximadamente 76 e 69%, respectivamente.

Estudo realizado por Mackowiak e Amacher (2008) observaram em experimento de campo, que a aplicação de sulfato de cálcio pode inibir a absorção de Se em plantas de alface e azevém cultivadas em solos com elevada concentração de Se. Já Golob et al., (2016) observaram em experimento de campo que o sulfato facilitou a absorção de selenato em plantas de trigo mourisco, quando aplicou-se $126 \mu\text{M}$ de cada um destes elementos via adubação foliar.

5. CONCLUSÃO

Houve efeito residual das doses de S e Se aplicadas.

O uso de doses de Se até $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$ promoveu um efeito benéfico, aumentando a absorção e acúmulo de S nos tecidos das plantas e a produção da alface.

Doses elevadas de S podem apresentar efeito inibitório na absorção de Se pelas plantas de alface.

Os conhecimentos adquiridos com este estudo podem auxiliar a estabelecer doses de Se e S a serem adicionadas na adubação básica para hortaliças, de forma a explorar seu efeito benéfico, aumentando sua concentração nas plantas sem prejuízo em produtividade por efeito fitotóxico e/ou deficiência em S. Além de aumentar a eficiência de uso dos fertilizantes, trabalhando com o efeito residual.

Nesse contexto, estudos futuros devem ser realizados em outras condições de cultivo a fim de elucidar cada vez mais a interação existente entre o Se e o S. Além disso, faz-se necessário trabalhos de extensão visando difundir informações sobre os alimentos biofortificados, fazendo com que a população tenha conhecimento sobre a importância do consumo destes alimentos para a nutrição humana e animal.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALVAREZ, V.; V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p. 595-644, 2007.

ARAÚJO, A. M. et al. Soil management and ionic strength on selenate retention in oxidic soils. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 42, n. 4, p. 395-407, 2018.

BASSO, C. J.; SOMAVILLA, L.; SILVA, R. F.; SANTI, A. L. Intervenção mecânica e gesso agrícola para mitigar o gradiente vertical de cátions sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s.l.], v. 45, n. 4, p.456-463, dez. 2015.

BODNAR, M.; KONIECZKA, P.; NAMIESNIK, J. The properties, functions, and use of selenium compounds in living organisms. **Journal of Environmental Science and Health**, Part C, v. 30, n. 3, p. 225-252, 2012.

BOLDRIN, P. F. et al. Selenium promotes sulfur accumulation and plant growth in wheat (*Triticum aestivum*). **Physiologia Plantarum**, Sweden, v. 158, n. 1, p. 80–91, 2016.

BROADLEY, M. R. et al. Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilisation. **Plant and Soil**, The Hague, v. 332, n. 1, p. 5–18, 2010.

CABANNES, E., BUCHNER, P., BROADLEY, M. R., HAWKESFORD, M. J. A Comparison of sulfate and selenium accumulation in relation to the expression of sulfate transporter genes in astragalus species. **Plant Physiol.** v.157, n.2227–2239, 2011.

CARVALHO, G. S. **Selênio e mercúrio em solos sob Cerrado nativo**. 2011. 93 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CASTRO, A. M. C. et al. Calcário e gesso no desenvolvimento do milho cultivado em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico. **Cultivando o Saber**, Cascavel, SC, v. 6, n. 1, p. 8-16, 2013.

CÉSAR, F. R. C. F. **Efeito do enxofre elementar na eficiência de fosfatos naturais**. 2012. 90f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP. 2012.

CHEN, L. et al. Effects of nitrogen forms on the growth, ascorbate-glutathione cycle and lipid peroxidation in developing seeds of vegetable soybean. **Journal of Agricultural Research, Washington**, v. 4, n. 11, p. 1178-1188, Nov. 2009.

COSTA, E. M., DE MORAES NUNES, B., VENTURA, M. V. A., CARVALHO, J. C. G. Efeito fisiológico de tiametoxam sobre o desenvolvimento da cultura da alface. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 2, 2018.

DUNTAS, L.H.; BENVENGA, S. Selenium: an element for life. **Endocrine**, v.48, p.756-75, 2015.

DURÁN, P. et al. Enhanced selenium content in wheat grain by co-inoculation of selenobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi: a preliminary study as a potential Se biofortification. **Journal of Cereal Science**, London, v. 57, n. 3, p. 275-280, May 2013.

ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Plants, selenium and human health. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 6, n. 3, p. 273-279, June 2003.

FARIA, Letícia de Abreu. **Levantamento sobre selênio em solos e plantas do Brasil e sua aplicação em plantas forrageiras**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FELLOWES, J. W. et al. Microbial selenium transformations in seleniferous soils. **European Journal Soil Science**, Oxford, v. 64, n. 5, p. 629–638, 2013.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-42, nov./dez. 2011.

FILGUEIRA F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2ª ed. Viçosa: UFV. 412p, 2003.

FORDYCE, F. M. Selenium geochemistry and health. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 36, n. 1, p. 94–97, 2007.

GALEAS, M. L. et al. Seasonal fluctuations of selenium and sulfur accumulation in selenium hyperaccumulators and related non-accumulators. **New Phytologist**, Cambridge, v. 173, n. 3, p. 517–525, 2007.

GOH, K. H.; LIM, T. T. Geochemistry of inorganic arsenic and selenium in a tropical soil: effect of reaction time, pH and competitive anions on arsenic and selenium adsorption. **Chemosphere, Oxford**, v. 55, n. 6, p. 849-859, 2004.

GOLOB, A. et al. Sulphur interferes with selenium accumulation in Tartary buckwheat plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 108, p. 32–36, 2016.

GUERRERO, B. et al. Dual effects of different selenium species on wheat. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 83, p. 300-307, 2014.

GUPTA, M., AND GUPTA, S. An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, p. 2074, 2017.

HAN, D. et al. Selenium uptake, speciation and stressed response of *Nicotiana tabacum* L. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 95, p. 6–14, 2013.

HARRIS, J., SCHNEBERG, K. A., PILON-SMITS, E. A. H. Sulfur-selenium-molybdenum interactions distinguish selenium hyperaccumulator *Stanleya pinnata* from non-hyperaccumulator *Brassica juncea* (Brassicaceae). **Planta**. v.239, p.479–491, 2014.

HATFIELD, D. L. et al. Selenium and selenocysteine: roles in cancer, health, and development. **Trends Biochemistry Science**, v. 39, p. 112–120, 2014.

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, p.149-57, 2013.

HUANG, Y.Z.; HUM, Y.; LIU, Y.X. Interactions between sulfur and selenium uptake by corn in solution culture. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, n.1, p.43-54, 2008.

KOPRIVA, S. Regulation of sulfate assimilation in Arabidopsis and beyond. **Annals of Botany**, Oxford, v. 97, n. 4, p. 479–495, 2006.

LESSA, J. H. L. et al. Adsorption-desorption reaction of selenium (VI) in tropical cultivated and uncultivated soils under Cerrado biome. **Chemosphere**, Oxford, v. 164, p. 271-277, 2016.

LI, H. F.; MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. J. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. **New Phytologist Journal**, v. 178, n. 1, p. 92–102, 2008.

LIU, X. et al. Effects of sulfur and sulfate on selenium uptake and quality of seeds in rapeseed (*Brassica napus* L.) treated with selenite and selenate. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 135, p. 13–20, 2017.

LYONS G; CAKMAK I. Agronomic biofortification of food crops with micronutrients. In: Bruulsema TW, Heffer P, Welch RM, Cakmak I, Moran K (eds) Fertilizing crops to improve human health: a scientific review. **International Plant Nutrition Institute**, Norcross, p. 97–122, 2012.

JONES, G. D. et al. Selenium deficiency risk predicted to increase under future climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 10, p. 1–6, 2017.

MACKOWIAK, C.L.; AMACHER, M.C. Soil sulfur amendments suppress selenium uptake by alfalfa and western wheatgrass. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 37, n. 3, p. 772–779, 2008.

MALAGOLI, M.; SCHIAVON, M.; DALL'ACQUA, S.; PILON-SMITS, E.A.H. Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. **Front Plant Sci**, v.6, p.280, 2015.

MEDEIROS, D.C.; LIMA, B.A.B.; BARBOSA, M.R.; ANJOS, R.S.B.; BORGES, R.D.; CAVALCANTE NETO, J.G.; MARQUES, L.F. Produção de mudas de alface com biofertilizantes e substratos. *Horticultura Brasileira*, v. 25, n. 3, p. 433-436, 2007.

MILLAR, K. R. Selenium. In: GRACE, N. D. (Ed.). The mineral requirements of grazing ruminants. [New York]: **New Zealand Society of Animal Production**, p. 38-47, 1983.

NASCIMENTO, G. R. **Estimativas de parâmetros de adaptabilidade e estabilidade de genótipos de alface (*Lactuca sativa* L.) em diferentes épocas e condições de cultivo.**, 2016, 61 p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

NAWAZ, F. et al. Effect of selenium foliar spray on physiological and biochemical processes and chemical constituents of wheat under drought stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v. 113, p. 191–200, 2015.

ONU - Organização das Nações Unidas. **World Population Prospects: key findings and advance tables** (2018 revision). New York: United Nations, 2018.

PAUL, D.; DEY, S. Selenium content and uptake in crops as affected by soil selenium content and implications on human health. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 45, n. 4, p. 429–36, 2014.

PENNANEN, A.; XUE, T.; HARTIKAINEN, H. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. **Journal of Applied Botany**, Berlin, v. 76, n. 1-2, p. 66-76, 2002.

PILON-SMITS, E. A. H.; LEDUC, D. L. Phytoremediation of selenium using transgenic plants. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 20, n. 2, p. 207–212, 2009.

PILON-SMITS, E. A. H.; QUINN, C. F. Selenium Metabolism in Plants. **Cell Biology of Metals and Nutrients**, [New York], v. 17, p. 225-241, 2010.

RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. 2. ed. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute**, p.420, 2017.

RAMOS, S. J., RUTZKE, M.A., HAYES, R.J., FAQUIN, V., GUILHERME, L.R.G. Selenium accumulation in lettuce germplasm. **The Plant Journal**, v. 233, p. 649-60, 2011.

RAMOS, S. J. et al. Response of brachiaria grass to selenium forms applied in a tropical soil. **Plant, Soil and Environment**, Praha, v. 58, n. 11, p. 521–527, 2012.

RAYMAN, M. P. The argument for increasing selenium intake. **The Proceedings of the Nutrition Society**, London, v. 61, n. 2, p. 203–215, 2002

REIS, A. R., JUNIOR, E. F., MORAES, M. F., & DE MELO, S. P. Biofortificação agrônômica com selênio no brasil como estratégia para aumentar a qualidade dos produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 8, n. 2, p. 128-138, 2014.

REETZ, E. R.; KIST, B. B.; SANTOS, C. E.; CARVALHO, C.; DRUM, M. **Anuário Brasileiro de Hortaliças**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2014. 88p.

RHEINHEIMER, D. S.; ALVAREZ, J. W. R.; OSORIO FILHO, B. D.; SILVA, L. S.; BORTOLUZZI, E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num 93 solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 562-569, 2005.

SAHA, U.; FAYIGA, A.; SONON, L. Selenium in the soil-plant environment: a review. **International Journal of Applied Agricultural Sciences**, v. 3, n. 1, p. 1-18, 2017.

SANTIAGO, F. E. M. et al. Influence of sulfur on selenium absorption in strawberry. **Acta Scientiarum**, Maringá, PR, v. 40, e35780, 2018.

SANTOS, H.G. DOS; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. DE; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SCHIAVON, M. et al. Exploring the importance of sulphate transporters and ATP sulphurylases for selenium hyperaccumulation – a comparison of *Stanleya pinnata* and *Brassica juncea* (Brassicaceae). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, n. 2, 2015.

SHINMACHI, F. et al. Influence of sulfur deficiency on the expression of specific sulfate transporters and the distribution of sulfur, selenium, and molybdenum in wheat. **Plant Physiology**, v. 153, n. 1, p. 327–336, 2010.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 370 p.

SIQUEIRA, T. P. **Formas de aplicação de fontes de cálcio, magnésio e enxofre no cultivo do milho em condições controladas**. 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/22486/6/FormasAplica%20a7%20a3oFontes.pdf>. Acesso em 10 de nov. de 2021.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agrônomicas**, n.129, p.7, 2010.

TAMAOKI, M.; FREEMAN, J. L.; PILON-SMITS, E. A. H. Cooperative ethylene and jasmonic acid signaling regulates selenite resistance in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v.N146, n. 3, p. 1219–1230, 2008.

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

United States Environmental Protection Agency - US EPA. Test methods for evaluating solid waste: physical/chemical methods. 3 ed. Washington, DC:U.S. EPA, 1995. (SW-846, Method 3051).

VILLAS BÔAS, R. L. et al. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, 2004.

VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, cap. 12, p. 300-322, 2006.

VITTI, G. C; OTTO, R; SAVIETO, J. Manejo do enxofre na agricultura. **Informações Agrônomicas**, n.152, p. 02 –12, dez. 2015.

WANG, M. C.; CHEN, H. M. Forms and distribution of selenium at different depths and among particle size fractions of three taiwan soils. **Chemosphere**, Oxford, v. 52, p. 585-593, 2003.

WANG, J., WANG, Z., MAO, H., ZHAO, H., & HUANG, D. Increasing Se concentration in maize grain with soil- or foliar-applied selenite on the Loess Plateau in China. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 150, n. 20, p. 83–90, 2013.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in humans diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v. 182, p. 49–84, 2009.

WHITE, P. J. et al. Interactions between selenium and sulphur nutrition in Arabidopsis thaliana. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p. 1927–1937, 2004.

WHITE, P. J. Selenium accumulation by plants. **Annals of Botany**, Oxford, v. 117, n. 2, p.

217–235, 2016.

WINKEL, L.H. et al. Selenium cycling across soil-plant-atmosphere interfaces: a critical review. **Nutrients**, v. 7, n. 6, p. 4199-4239, 2015.

WU, Z.; BAÑUELOS, G.S.; LIN, Z.Q.; LIU, Y.; YUAN, Y.; YIN, X.; LI, M. Biofortification and phytoremediation of selenium in China. **Front. Plant Sci**, v.6, p.136, 2015.