



STEFÂNIA BARROS ZAUZA

**BIOFORTIFICAÇÃO DE ORA-PRO-NOBIS (*Pereskia aculeata*
Mill.) COM SELÊNIO VIA SOLO**

**LAVRAS – MG
2020**

STEFÂNIA BARROS ZAUZA

**BIOFORTIFICAÇÃO DE ORA-PRO-NOBIS (*Pereskia Aculeata* Mill.) COM SELÊNIO
VIA SOLO**

**BIOFORTIFICATION OF ORA-PRO-NOBIS (*Pereskia aculeata* Mill.) WITH
SELENIUM VIA SOIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Plantas Medicinais, Aromáticas e Condimentares do Departamento de Agricultura, área de concentração em Cultivo e Manejo Sustentável de Plantas Medicinais, para obtenção do título de Mestre.

Dra. Joyce Doria Rodrigues
Orientadora

Luiz Roberto Guimarães Guilherme, Ph. D.
Coorientador

**LAVRAS – MG
2020**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Zauza, Stefânia Barros.

Biofortificação de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) com
selênio via solo / Stefânia Barros Zauza. - 2020.

78 p. : il.

Orientador(a): Joyce Doria Rodrigues.

Coorientador(a): Luiz Roberto Guimarães Guilherme.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Selênio. 2. Biofortificação. 3. Ora-pro-nobis. I. Rodrigues,
Joyce Doria. II. Guilherme, Luiz Roberto Guimarães. III. Título.

STEFÂNIA BARROS ZAUZA

BIOFORTIFICAÇÃO DE ORA-PRO-NOBIS (*Pereskia aculeata* Mill.) COM SELÊNIO VIA SOLO

BIOFORTIFICATION OF ORA-PRO-NOBIS (*Pereskia aculeata* Mill.) WITH SELENIUM VIA SOIL

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Plantas Medicinais, Aromáticas e Condimentares do Departamento de Agricultura, área de concentração em Cultivo e Manejo Sustentável de Plantas Medicinais, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 13 de fevereiro de 2020.

Dra. Joyce Doria Rodrigues	UFLA
Dra. Luciane Vilela Resende	UFLA
Dra. Cynthia de Oliveira	UFLA
Dr. Fábio Aurélio Dias Martins	EPAMIG

Profa. Dra. Joyce Doria Rodrigues

Orientadora

Prof. Luiz Roberto Guimarães Guilherme, Ph. D.

Coorientador

**LAVRAS – MG
2020**

À Deus.

Aos meus pais Flávio Zauza e Fátima Zauza.

Ao meu irmão Hugo.

Ao meu querido e amado namorado.

Aos meus amigos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo à Deus, pela força divina que me consedeu para aguentar os obstáculos da vida, me livrando de todo mal e iluminando meu caminho até aqui;

Aos meus pais, Fávio Olaércio Zauza e Fátima Paes Barros Zauza por todo o incentivo, carinho, amor, por estarem sempre ao meu lado e pelas oportunidades ao longo de toda minha vida;

Ao meu irmão Hugo Leonardo Barros Zauza por todo carinho e incentivo;

Ao meu querido namorado Filipe Aiura Namorato por todos esses anos de carinho, companheirismo e incentivo, estando sempre ao meu lado, e por toda a ajuda ao longo do mestrado;

À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade de realizar o mestrado;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG pela concessão da bolsa de mestrado;

À CAPES e CNPq pelo apoio à pesquisa;

Ao Programa de Pós-Graduação em Plantas Mediciniais, Aromáticas e Condimentares, pela oportunidade;

À minha orientadora Joyce Doria Rodrigues pela oportunidade, confiança, ajuda e suporte oferecidos;

Ao professor Luiz Roberto Guimarães Guilherme por toda a confiança e suporte no experimento;

À pós-doutoranda Cynthia por sempre ser solícita, por toda paciência e ensinamentos;

Às minhas colegas de pós-graduação por sempre estarem disponíveis em ajudar;

Às minhas amigas de Lavras, Gabriela e Kellyn, pela amizade e por contribuírem para que a vida fosse mais leve;

À todos os professores, técnicos e funcionários da UFLA que auxiliaram com sua ajuda e conhecimentos;

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

MEU MUITO OBRIGADA!

RESUMO GERAL

O ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) é uma planta alimentícia não convencional (PANC) que apresenta grande valor nutritivo em suas folhas, sendo consumidas em diversos pratos, além de ser utilizada como planta medicinal. Nesse sentido, uma estratégia para incrementar seu valor nutricional e fazer com que ela contribua para minimizar problemas de deficiências nutricionais no organismo humano é a biofortificação agrônômica com selênio, nutriente do qual é considerado um dos mais deficientes na população humana e que ajuda na prevenção de diversas doenças. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de biofortificação do ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) com selênio, assim como o efeito desse elemento em diferentes doses no desempenho agrônômico e na qualidade nutricional da mesma. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, seguindo o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6 x 2, sendo duas fontes de selênio (selenato e selenito) aplicadas via solo, seis doses (0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 mg de Se kg⁻¹ de solo), com quatro repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. Com o aumento das doses de Se, ocorreu a diminuição da produção de matéria seca de caule e fresca de folhas, no tratamento com selenato, diminuindo também o conteúdo de lipídeos das folhas. Na variável cinzas, independente das fontes, até a dose 4,0 mg kg⁻¹ de Se, ocorreu o aumento desta e, a partir dessa dose, o conteúdo de cinzas se manteve constante. O efeito da aplicação de Se no conteúdo de carboidratos foi significativo apenas quando se aplicou o selenato, diminuindo até a dose 1,0 mg kg⁻¹, mantendo-se constante até a dose 4,0 mg kg⁻¹ e, a partir disso, com o aumento da dose, observou-se um pequeno aumento dessa variável. O selênio foi capaz de afetar o conteúdo de nutrientes nas folhas sendo que o enxofre e o ferro aumentaram com a dose de 2,0 mg kg⁻¹ de Se na forma de selenato e 4,0 mg kg⁻¹ de Se na forma de selenito, respectivamente. O conteúdo de Mg foi afetado na dose 1,0 mg kg⁻¹ quando foi feita a aplicação de selenito e na dose 8,0 mg kg⁻¹ quando foi feita a aplicação de selenito, ocorrendo uma redução da absorção desse elemento pelas plantas. Suas folhas foram capazes de absorver teores totais de Se próximos a 850 mg kg⁻¹ com a fonte de selenato, na dose máxima aplicada (8,0 mg kg⁻¹ de Se). Apesar disso, este elemento causou toxicidade nas plantas, o que refletiu no comprometimento do seu crescimento, levando ao aparecimento de sintomas de toxicidade. A espécie pode ser classificada como uma acumuladora de Se, uma vez que foi capaz de acumular entre 100 e 1000 mg kg⁻¹ de Se em seus tecidos. Entretanto, apesar dessa possível classificação, nas doses em que as plantas foram capazes de acumular altas concentrações de Se com a fonte selenato, ocorreu toxicidade nas plantas, o que mostra que o fato delas acumularem muito Se nos seus tecidos não foi interessante, uma vez que causou danos fisiológicos e de produção à elas.

Palavras-chave: Selênio. Biofortificação. Selenato. Selenito. Ora-pro-nobis.

GENERAL ABSTRACT

The ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) is an unconventional food plant (PANC) that has great nutritional value in its leaves, being consumed in several dishes, in addition to being used as a medicinal plant. In this sense, a strategy to increase its nutritional value and make it contribute to minimize problems of nutritional deficiencies in the human body is agronomic biofortification with selenium, a nutrient that is considered one of the most deficient in the human population and that helps in the prevention of various diseases. Given the above, this study aimed to evaluate the biofortification potential of ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) with selenium, as well as the effect of this element in different doses on its agronomic performance and nutritional quality. The experiment was conducted in a greenhouse, following a completely randomized design, in a 6 x 2 factorial scheme, with two sources of selenium (selenate and selenite) applied via soil, six doses (0; 0.5; 1.0; 2.0 ; 4.0 and 8.0 mg of Se kg⁻¹ of soil), with four repetitions, totaling 48 experimental plots. With the increase in Se doses, there was a decrease in the production of fresh leaf and stem dry matter, in the treatment with selenate, also decreasing the lipid content of the leaves. In the ash variable, independent of the sources, up to the 4.0 mg kg⁻¹ dose of Se, there was an increase in it and, from that dose, the ash content remained constant. The effect of applying Se on the carbohydrate content was significant only when selenate was applied, decreasing up to the dose 1.0 mg kg⁻¹, remaining constant until the dose 4.0 mg kg⁻¹ and, from there, with increasing dose, there was a small increase in this variable. Selenium was able to affect the nutrient content in the leaves, while sulfur and iron increased with a dose of 2.0 mg kg⁻¹ of Se in the form of selenate and 4.0 mg kg⁻¹ of Se in the form of selenite, respectively. The Mg content was affected at 1.0 mg kg⁻¹ when selenite was applied and at 8.0 mg kg⁻¹ when selenite was applied, reducing the absorption of this element by plants. Its leaves were able to absorb total levels of Se close to 850 mg kg⁻¹ with the source of selenate, in the maximum applied dose (8.0 mg kg⁻¹ of Se). Despite this, this element caused toxicity in the plants, which reflected in the impairment of its growth, leading to the appearance of toxicity symptoms. The species can be classified as a Se accumulator, since it was able to accumulate between 100 and 1000 mg kg⁻¹ of Se in its tissues. However, despite this possible classification, in the doses in which the plants were able to accumulate high concentrations of Se with the selenate source, toxicity occurred in the plants, which shows that the fact that they accumulate a lot of Se in their tissues was not interesting, since that caused physiological and production damage to them.

Keywords: Selenium. Biofortification. Selenate. Selenite. Ora-pro-nobis.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	11
1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Plantas alimentícias não convencionais (PANCs)	13
2.2 Caracterização da espécie <i>Pereskia aculeata</i>	14
2.3 Ora-pro-nobis na saúde humana	17
2.4 Selênio	19
2.5 Biofortificação com selênio	22
2.6 O selênio na saúde humana	24
3 CONSIDERAÇÕES GERAIS	26
REFERÊNCIAS	27
CAPÍTULO 2 – ARTIGO	36
1 INTRODUÇÃO	39
2 MATERIAL E MÉTODOS	41
2.1 Cultivo de <i>Pereskia aculeata</i> Mill. e delineamento experimental	41
2.2 Determinação da matéria fresca, seca, número de folhas, índice SPAD e sintomatologia das plantas	42
2.3 Determinação da análise centesimal, nitrogênio, proteína total e aminoácidos livres totais em folhas	43
2.4 Determinação do teor total de Se, acúmulo de Se, eficiência de absorção de Se e teor total de nutrientes, exceto nitrogênio	44
2.5 Análise estatística	45
3 RESULTADOS	46
3.1 Sintomatologia	46
3.2 Matéria fresca e seca de folhas, matéria seca de caules, número de folhas e índice SPAD	47
3.3 Análise centesimal	50
3.4 Proteína total, aminoácidos livres totais e nitrogênio	52
3.5 Nutrientes	53

3.6 Teor total de selênio, acúmulo de selênio e eficiência de absorção de selênio.....	59
4 DISCUSSÃO	66
4.1 Sintomatologia	66
4.2 Matéria fresca e seca de folhas, matéria seca de caules, número de folhas e índice SPAD	67
4.3 Análise centesimal	68
4.4 Proteína total e aminoácidos livres totais	69
4.5 Nutrientes	70
4.6 Teor total de selênio, acúmulo de selênio e eficiência de absorção de selênio.....	71
5 CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS	73

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

O selênio (Se) é considerado essencial para os seres humanos e animais. Exerce atividade biológica por meio de sua incorporação em proteínas, formando as selenoproteínas, que desempenham atividade antioxidante capaz de reduzir peróxidos no corpo humano (RAYMAN, 2002). Também apresenta atividade anticancerígena no cólon, pulmão, pele e em outros órgãos. As plantas são consideradas fontes de Se para os animais e seres humanos, sendo, dessa forma, a ingestão dessas uma maneira de suprir a necessidade deste elemento no organismo humano e animal. A baixa ingestão dietética desse elemento em diversas regiões do mundo tem sido associada a problemas de saúde humana, como aumento na incidência de câncer (COMBS, 2001), sendo essa deficiência nos alimentos atribuída aos baixos teores desse elemento nos solos agrícolas. Uma das estratégias para sanar esse problema de deficiência é aumentar o teor desse elemento em alimentos que constituem a base da alimentação humana, como por exemplo, as hortaliças (RAMOS et al., 2010; WHITE; BROADLEY, 2009), através da biofortificação agrônômica. Esta é uma técnica considerada relativamente barata e eficiente para a melhoria da qualidade nutritiva dos alimentos, consistindo basicamente no aumento da concentração de Se nas culturas agrícolas, através da sua introdução na adubação das plantas (GRAHAM et al., 2007).

O Se pode ser absorvido pelas plantas nas formas orgânicas, selenometionina e selenosisteína e, nas formas inorgânicas, selenato e selenito, que são as formas que predominam em grande parte dos solos (WHITE et al., 2004, 2007). Segundo Rovira et al. (2008), o Se na forma de selenito pode sofrer adsorção específica com a hematita e a goethita e formar complexos de esfera-interna, o que pode torná-lo indisponível para as plantas. Já o Se na forma de selenato é estável em ambientes oxidados, muito móvel no solo e está prontamente disponível para as plantas. Além disso, essas duas fontes de Se se diferem na absorção e na mobilidade deste no interior das plantas, sendo o selenato mais facilmente transportado para a parte aérea, enquanto o selenito tende a acumular nas raízes das plantas (ZHANG et al., 2003).

Uma hortaliça que apresenta diversos benefícios para a saúde humana e, que tem grande potencial na biofortificação agrônômica é a ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.), espécie da qual pertence à família Cactaceae e é considerada uma planta alimentícia não convencional - PANC (BRASIL, 2002; KINUPP, 2006). Por não apresentar toxicidade comprovada em suas folhas e ser rica em nutrientes, esta é utilizada na alimentação humana e animal (DIAS et al.,

2005; DUARTE; HAYASHI, 2005; ROSA; SOUZA, 2003; TAKEITI et al., 2009), sendo consumida pelas populações rurais e urbanas em diversas preparações como saladas, refogados, farinhas e massas, contribuindo para complementar a alimentação e a economia familiar (SOUZA et al., 2009). Apesar da espécie ser pouco explorada comercialmente, esta apresenta grande potencial para exploração econômica (ACCORSI; DOSOUTO, 2006; GONZAGA, 2005; MADEIRA; SILVEIRA, 2010; MUNIZ, 2008; SILVA JÚNIOR et al., 2010). Além do uso na indústria alimentícia, também apresenta grande potencial na indústria farmacêutica, sendo que em algumas regiões do Brasil seu uso medicinal é conhecido popularmente. Pesquisas científicas têm demonstrado o potencial anti-inflamatório, cicatrizante, antitumoral e tripanocida das folhas (BARROS et al., 2009; OLIVEIRA, 2008; ROYO et al., 2005; SARTOR et al., 2010; VALENTE et al., 2007). Também auxilia na recuperação da pele em casos de queimaduras e como emoliente, devido ao alto conteúdo mucilaginoso (DUARTE; HAYASHI, 2005; ROSA; SOUZA, 2003; SARTOR et al., 2010) e, de acordo com Garcia et al. (2011), apresenta ação antioxidante.

Diversos estudos têm mostrado que a biofortificação com Se tem aumentado o teor desse elemento em várias espécies de plantas, o que indica que esta técnica é útil para elevar a ingestão de Se pela população através dos alimentos, diminuindo os problemas causados pela sua deficiência no organismo humano, que atinge aproximadamente um bilhão de pessoas no mundo (WHITE; BROADLEY, 2009). Considerando que o nível adequado de Se em uma população está altamente correlacionado ao conteúdo deste nos alimentos (COMBS, 2001), a espécie *Pereskia aculeata* apresenta enorme potencial na biofortificação com este elemento. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial de biofortificação da espécie *Pereskia aculeata* com selênio, assim como o efeito desse elemento em diferentes doses no desempenho agrônomico e na qualidade nutricional da mesma.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Plantas alimentícias não convencionais (PANCs)

As plantas alimentícias não convencionais, as PANCs, são um grupo de plantas que vem ganhando cada vez mais espaço no mercado consumidor, sendo introduzidas na dieta das populações e cultivadas nas próprias residências, além de fazer parte da gastronomia de restaurantes conceituados, o que faz com que estas sejam parte da cultura e identidade de muitas regiões do mundo (VOGGESESSER et al., 2013), podendo exercer grande influência na alimentação de populações tradicionais. Devido ao fato de não estarem tão presentes na dieta no dia-a-dia das populações quando comparadas à aquelas plantas consumidas convencionalmente, estas apresentam distribuição limitada à determinada região, não fazendo parte de uma cadeia produtiva como a das plantas alimentícias convencionais, o que não desperta o devido interesse da comunidade técnico-científica e de empresas das áreas de fertilizantes, sementes ou agroquímicos (BRASIL, 2010). Além disso, muitas PANCs ainda não são reconhecidas pelo seu valor nutricional, podendo apresentar teores de minerais e proteínas equiparados às outras plantas, ou até mesmo maiores. Também se destacam pela quantidade de fibras e compostos com funções antioxidantes (KINNUP; BARROS, 2008), o que realça ainda mais a importância e a viabilidade de aumentar seu reconhecimento e consumo em todo o mundo.

Apesar do seu consumo ainda não ser tão disseminado, estas podem representar uma alternativa alimentar e fonte de subsistência, principalmente na agricultura familiar de populações de baixa renda urbana e rural, já que não necessitam da utilização de muitos insumos agrícolas (BRESSAN et al., 2011) e a maioria pode ser considerada de fácil cultivo, contribuindo na diversificação da atividade agrícola e na economia local e regional (ROCHA et al., 2008; NESBITT et al., 2010). Além disso, seu consumo representa uma estratégia para manter a diversificação alimentar (KINUPP, 2007), que é considerada uma das formas de se obter diferentes nutrientes na alimentação.

No Brasil, diversas PANCs fazem parte da alimentação de muitas famílias, sendo as mesmas consumidas *in natura*, refogadas, em formas de doces e cocadas; porém, ainda são poucos os estudos sobre o uso destas plantas (PILLA; AMOROZO, 2009; NASCIMENTO et al., 2013). São exemplos de algumas hortaliças consideradas PANCs: almeirão-de-árvore (*Lactuca canadensis* – Asteraceae), araruta (*Maranta arundinacea* L. – Amarantaceae), azedinha (*Rumex acetosa* L. – Polygonaceae), beldroega (*Portulaca oleracea* L. –

Portulacaceae), bertalha (*Anredera cordifolia* - Basellaceae), capuchinha (*Tropaeolum majus* L. – Tropaeoleaceae), peixinho (*Stachis lanata* – Lamiaceae), serralha (*Sonchus oleraceus* L. – Asteraceae), taioba (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott – Araceae) e ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill. – Cactaceae) (BRASIL, 2010). Dentre elas, a espécie *Pereskia aculeata* se destaca por ser consumida em determinadas regiões do Brasil, onde é utilizada em diversos pratos. Além disso, devido suas propriedades medicinais, a planta tem grande importância na saúde humana.

2.2 Caracterização da espécie *Pereskia aculeata*

Conhecida popularmente como ora-pro-nobis, a espécie *Pereskia aculeata* é uma planta rústica, considerada uma hortaliça não convencional (BRASIL, 2002). Seu nome se deriva do latim e significa “Orai por nós”, devido a uma lenda que diz que nos tempos coloniais, no estado de Minas Gerais, a igreja da cidade de Sabará possuía grandes moitas com essa planta e o padre não permitia que fossem colhidas, mas mesmo assim os escravos as pegavam sem autorização durante as longas missas (TOFANELLI; RESENDE, 2011).

Pertencente ao reino Plantae, classe Magnoliopsida, ordem Caryophyllales, família Cactaceae e gênero *Pereskia* (KINUPP, 2006), esta é considerada uma das únicas plantas da família Cactaceae com folhas desenvolvidas. Ao contrário do que ocorre com as outras espécies da família Cactaceae, das quais apresentam fotossíntese do tipo CAM, o gênero *Pereskia* mantém metabolismo fotossintético ancestral C3, considerado como menos evoluído, o que permite maiores condições de adaptação a ambientes moderadamente úmidos (ALTESOR et al., 1992; EDWARDS; NYFFELER; DONOGHUE, 2005; EDWARDS; DIAZ, 2006).

A espécie tem origem nas Américas, onde sua presença é relatada desde a Flórida (EUA) até a Argentina (MADEIRA et al., 2013) e, no Brasil, é encontrada desde o estado da Bahia até o Rio Grande do Sul (GRONNER; SILVA; MALUF, 1999). Há evidências de que essa espécie seja de clima tropical e subtropical, sendo encontrada nos biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (BARBOSA et al., 2012). No Brasil, na região Nordeste, predomina nos estados do Maranhão, Pernambuco, Bahia, Alagoas e Sergipe; no Centro-oeste pode ser encontrada em Goiás; no Sudeste pode ser encontrada em todos os estados; já no Sul pode ser vista no Paraná e em Santa Catarina (ZAPPI et al., 2015). Dessa forma, a espécie apresenta ampla distribuição no território brasileiro, se desenvolvendo em diferentes biomas (CARVALHO et al., 2014).

É uma espécie nativa, perene e, quando jovem, é um arbusto ereto, mas quando adulta normalmente é conduzida como uma trepadeira semi-lenhosa, crescendo mesmo sem a

presença de anteparo, podendo atingir até 10 m de comprimento. (DUARTE; HAYASHI, 2005; SILVEIRA, 2016; SOUZA et al., 2010). Apresenta espinhos em seus ramos e suas folhas são carnosas e com presença de mucilagem (ALBURQUEQUE; SABAA SRUR; FREIMAN, 1991). Devido à sua característica de rusticidade, a espécie se adapta muito bem aos diversos ambientes, não sendo exigente em fertilidade (BRASIL, 2010).

Sua propagação pode ser realizada por estaquia caulinar, na qual a planta enraíza facilmente, apresentando crescimento rápido e vigoroso sob luz solar plena, além de ter histórico de baixa incidência de pragas e doenças (SILVA JÚNIOR et al., 2010). Também apresenta bom desenvolvimento vegetativo durante o ano inteiro (ALMEIDA FILHO; CAMBRAIA, 1974).

A temperatura ótima para seu crescimento está entre 25°C e 30°C e, em condição de seca extrema, durante meses ou até mesmo anos, os caules secam, porém, apresentam a capacidade de rebrotar a partir da base destes (LEUENBERGER, 1992b). Para que as folhas permaneçam tenras e novas, recomenda-se que a planta seja podada de três em três meses. De acordo com Accorsi e Dosouto (2006), a planta se desenvolve melhor em ambientes quentes, úmidos e não encharcados, podendo tolerar temperaturas inferiores a 3°C e, também, podendo ser cultivada na sombra (MADEIRA; SILVEIRA, 2010; MUNIZ, 2008). Além disso, em relação à forma de condução, esta pode ser cultivada com ou sem espaldeiras, o que não interfere no crescimento das mesmas (TOFFANELI; RESENDE, 2011).

Com relação à morfologia de suas folhas, essas possuem ápice agudo-acuminado, base aguda, margem inteira e nervura central bem nítida. Também possuem limbo e pecíolo, sendo suas paredes espessadas (DUARTE; HAYASHI, 2005). Quando as folhas forem colhidas com fins alimentícios, é recomendado que seja coletada juntamente com o pecíolo e quando estas estiverem entre 7 a 9 cm de comprimento (SILVEIRA, 2016), devendo ser realizada 2 a 3 meses após o plantio, podendo ter um rendimento entre 2.500 a 5.000 kg ha⁻¹ em condições experimentais (BRASIL, 2010; SILVEIRA, 2016).

Seu caule apresenta aspecto fino com ramos longos, nos quais se inserem folhas largas, lanceoladas, suculentas e com a presença de mucilagem, sendo ereto na fase jovem e rasteiro na fase adulta (BRASIL, 2010). Há a presença de acúleos (falsos espinhos) curtos e curvos, dos quais ocorrem aos pares voltados para baixo quando jovens e, agrupados e retos, quando lenhosos. Nas axilas das folhas podem ocorrer, mesmo que raramente, espinhos solitários ou agrupados (ALBUQUERQUE et al., 1991; BRASIL, 2010).

Suas flores são pequenas, brancas e amareladas, das quais exalam forte aroma, iniciando sua antese nas primeiras horas de luz solar, permanecendo abertas até o entardecer (FREITAS,

1992; SILVEIRA, 2016). Os receptáculos de suas flores possuem de 6 a 8 bractéolas foliares que aparecem nos frutos e, quando amadurecem, caem (ROSA; SOUZA, 2003). Possuem perianto carnoso, néctar e pólen abundantes. (FREITAS, 1992) e a floração ocorre nos meses de janeiro a abril. Por serem ricas em pólen e néctar, estas são bastante cultivadas para fins de produção de mel pelos apicultores (BRASIL, 2010).

Seus frutos apresentam formato arredondado, oval ou piriforme. Quando imaturos, são pequenas bagas verdes e, quando maduros, são amarelo-alaranjados ou avermelhados (BRASIL, 2010; SILVEIRA, 2016). Quando maduros, possuem de 1 a 8 sementes, com formato lenticular, cor marrom-escura a preta e são brilhantes quando maduras (ROSA; SOUZA, 2003). Para que as sementes germinem, é estabelecido um intervalo de temperatura ótimo entre 6°C e 38°C, com máximo de germinação em 33°C, não necessitando de luz no intervalo ótimo de temperatura (DAU; LABOURIAU, 1974).

Com relação à sua utilização, por possuir alto valor nutricional e ser rica em diversas substâncias, a espécie pode ser empregada em diversos setores da indústria. O fato de apresentar mucilagem em suas folhas, dada pela presença de arabinogalactana, um polissacarídeo que confere propriedades físicas úteis, como formação de géis e mudanças na viscosidade, a espécie possui ainda mais destaque, já que pode ser utilizada em processos industriais, tais como a fabricação de papel, tinta, fármacos e produtos alimentícios (BEMILLER; HUBER, 2010; MERCÊ et al., 2001; SIERAKOWSKI et al., 1987).

O valor nutricional de *Pereskia aculeata* está associado, principalmente, aos elevados teores de proteínas encontrados nas folhas, sendo já identificado um conteúdo de proteína na matéria seca de 17,40% (ALMEIDA et al., 2014), 24,73% (ROCHA et al., 2008) e 28,59% nas folhas frescas (TAKEITI et al., 2009). Por esse fato, também é conhecida como “carne-de-pobre” em Minas Gerais. Além disso, apresenta elevados teores de fibras alimentares e minerais, com destaque para o cálcio (3.800 mg 100 g⁻¹), ferro (28,12 mg 100 g⁻¹) (ALMEIDA et al., 2014; ROCHA et al., 2008) e zinco (26,71 mg 100 g⁻¹) (TAKEITI et al., 2009). Com isso, devido a esse alto valor nutricional, o Instituto Nacional de Alimentação e Nutrição (INAN) inclui a ora-pro-nobis entre os ingredientes de uma multimistura de consumo rotineiro que foi proposta e divulgada por esse órgão do Ministério da Saúde para auxiliar no combate à fome das populações mais carentes do país (FARFAN, 1998).

Segundo Santos et al. (2012), a concentração de ferro presente nas folhas de ora-pro-nobis contribui de forma significativa para o suprimento das necessidades diárias deste mineral. Por esse motivo, somado ao alto conteúdo de proteínas, as folhas da planta são utilizadas no preparo de farinhas múltiplas para o combate à fome e à anemia, podendo ainda, sofrer processo

de desidratação para preparo de flocos (como de orégano), empregados para elevar o valor nutricional de pães, bolos, omeletes, bolinho de vegetais, tortas salgadas, sopas e outros alimentos.

É consumida por populações rurais e urbanas, contribuindo para complementar a alimentação e a economia familiar (SOUZA et al., 2009), podendo ser utilizada no preparo de farinhas (folhas secas), saladas, refogados, tortas e massas alimentícias, como o macarrão, ou ainda, aproveitada em sopas (ROCHA et al., 2008; SILVEIRA, 2016). Além disso, seus frutos podem ser utilizados em geleias e na produção de licores (OLIVEIRA et al., 2011; SANTOS et al., 2011b; VASQUES-ARAÚJO; JOAQUIM, 2007). Em Minas Gerais, especialmente nas antigas regiões mineradoras, é bastante utilizada na culinária, existindo, inclusive, um evento gastronômico no município de Sabará, do qual contribui bastante com o turismo local, chamado “Festival do Ora-pro-Nobis” (BRASIL, 2010; DIAS et al., 2005). Além da sua utilização na alimentação humana, a espécie também pode ser utilizada na ornamentação, como cerca viva, na alimentação animal e como planta medicinal, apresentando diversos benefícios para a saúde humana.

2.3 Ora-pro-nobis na saúde humana

A espécie *Pereskia aculeata* além de ser utilizada na indústria alimentícia, também apresenta grande potencial na indústria farmacêutica, uma vez que esta detém substâncias químicas ativas com ação farmacológica que auxiliam na redução das dislipidemias (distúrbios nos níveis de lipídeos), podendo ser desenvolvido medicamentos com a planta (LIMA-JUNIOR et al., 2013; SARTOR et al., 2010; SOUZA, 2014).

Devido a ausência de atividade hemolítica em eritrócitos humanos, a espécie é considerada atóxica (SANTOS et al., 2011b), o que faz com que esta possa ser utilizada na indústria farmacêutica no desenvolvimento de medicamentos. Testes com extratos aquosos e/ou alcoólicos de folhas, caules ou raízes de *Pereskia aculeata* têm sido realizados e inseridos em formulações terapêuticas para testar a ação antimicrobiana, antitumoral e tripanocida da espécie (BARROS et al., 2009; OLIVEIRA, 2008; ROYO et al., 2005; SARTOR et al., 2010; VALENTE et al., 2007).

As características químicas de suas folhas e frutos têm sido bastante estudadas. Para os caules, os estudos são restritos e para raízes nenhum relato foi encontrado. Agostini-Costa et al. (2012) ao estudar os frutos da espécie, relatou $71,70 \pm 1,90 \mu\text{g g}^{-1}$ de carotenoides totais, sendo trans- β -caroteno ($34,30 \pm 0,60 \mu\text{g g}^{-1}$), α -caroteno ($22,70 \pm 0,60 \mu\text{g g}^{-1}$), luteína ($6,50 \pm$

0,40 $\mu\text{g g}^{-1}$), cis- β -caroteno ($2,80 \pm 0,10 \mu\text{g g}^{-1}$), α - critpoxantina/zeinoxantina ($2,70 \pm 0,20 \mu\text{g g}^{-1}$) e β -criptoxantina ($2,20 \pm 0,20 \mu\text{g g}^{-1}$). Dessa forma, seus frutos apresentam substâncias bioativas, especialmente os carotenoides, com propriedade pró-vitamina A (ALMEIDA; CORRÊA, 2012).

Também foram identificados esteroides β -sitosterol estigmasterol em *Pereskia aculeata*. Os esteroides presentes nas plantas, ou fitoesteróis, são encontrados em uma variedade de famílias, incluindo diversos vegetais na dieta. Dentre eles, o β -sitosterol é o mais frequente, podendo representar até 65% do total de esteroides de uma planta. Muitas pesquisas têm demonstrado que fitoesteróis e seus derivados exercem efeitos protetores contra algumas doenças crônicas, como arteriosclerose, câncer, úlcera e inflamações. Estudos realizados em animais demonstraram que uma mistura de fitoesteróis frequentemente encontrados na dieta, inibe o crescimento de células cancerígenas e reduz o tamanho de tumores e a incidência de câncer de cólon, mama e próstata induzidos por agentes carcinógenos específicos. Além disso, estudos *in vitro* mostram que esses esteroides em concentrações bem baixas, principalmente o β -sitosterol, inibem a proliferação celular e induzem a apoptose em linhagens de células de câncer de fígado, próstata, mama, cólon e de fibrosarcoma murinho (ZHAO et al., 2009).

Com relação às suas folhas, estas possuem alto teor de carboidrato, fósforo, magnésio e cobre, além de vitaminas A, C e B9 e, baixos níveis de lipídeos e calorias (TAKEITI et al., 2009; TOFANELLI; RESENDE, 2011). Apesar dos poucos estudos científicos, sabe-se que o teor proteico das folhas da espécie *Pereskia aculeata* é de boa qualidade, apresentando em torno de 85% de digestibilidade e com elevados valores de aminoácidos essenciais, com destaque para a lisina, leucina e valina (MAZIA, 2012). Há ainda relatos de que o aminoácido mais abundante é o triptofano ($2046 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) e o ácido glutâmico ($9,90 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) (TAKEITI et al., 2009). Podem ser usadas no abrandamento dos processos inflamatórios, na recuperação da pele em casos de queimaduras e como emolientes, devido ao alto conteúdo mucilaginoso (DUARTE; HAYASHI, 2005; ROSA; SOUZA, 2003; SARTOR et al., 2010). Também auxilia no processo de cicatrização (BARROS et al., 2010) e, de acordo com Garcia et al. (2011), apresenta ação antioxidante. Já seus frutos, podem ser utilizados como expectorantes e antissifilíticos (ROSA; SOUZA, 2003).

Os antioxidantes podem ser caracterizados como substâncias que podem prevenir, impedir ou reduzir danos oxidativos ao DNA, às proteínas e aos lipídeos. Atuam como sequestradores de espécies reativas de oxigênio (ERO) nocivas, responsáveis pelo início ou progresso de doenças (DIPLOCK et al., 1998), prevenindo distúrbios causados por reações com radicais livres que se encontram em excesso, como doenças cardíacas, arteriosclerose, alguns

tipos de câncer, Alzheimer e diabetes (GONENC et al., 2011; TAKAO et al., 1994; VALKO et al., 2006; VERA-RAMIREZ et al., 2011). Evidências tem indicado que os radicais livres e outros oxidantes são grandes responsáveis pelo envelhecimento e pelas doenças degenerativas associadas ao envelhecimento, como câncer, doenças cardiovasculares, catarata, declínio do sistema imune e disfunções cerebrais (ALMADA FILHO, 2002). Com isso, o aumento da ingestão de fontes naturais contendo compostos antioxidantes, como frutas e hortaliças, seria uma solução para reduzir a incidência de doenças relacionadas aos radicais livres. Além disso, pelo fato da espécie apresentar alto conteúdo nutricional e propriedades medicinais, esta deve ser inserida em estudos relacionados à biofortificação agrônômica, visando aumentar ainda mais seus benefícios e, conseqüentemente, diminuir as deficiências presentes na população humana. Um dos elementos que podem ser utilizados na biofortificação agrônômica e que também apresenta diversos benefícios para a saúde humana é o selênio.

2.4 Selênio

John Jacob Berzelius, em 1817, ao observar um líquido pardo-avermelhado no fundo da câmara de chumbo utilizada na produção de ácido sulfúrico, identificou e nomeou esta substância como selênio, termo do qual deriva do grego Selene (Lua), fazendo analogia ao elemento telúrio, cujo nome deriva de tellus (Terra), já que apresentava características semelhantes a este elemento. O selênio é um elemento que apresenta número atômico 34 e massa atômica 78,96, sendo representado como “Se”. Está localizado na tabela periódica entre o enxofre e o telúrio, apresentando propriedades químicas intermediárias entre os metais e os ametais, sendo considerado, portanto, um metaloide. Possui propriedades químicas e físicas muito semelhantes ao enxofre, sendo parecidos quanto ao raio atômico, energia de ligação, potencial de ionização e afinidade eletrônica (TINGGI, 2003).

Embora seja considerado um elemento essencial para humanos e animais, o selênio ainda não teve sua essencialidade em plantas superiores definida (RAYMAN, 2002; SORS; ELLIS; SALT, 2005; TERRY et al., 2000). Apesar disso, estudos relataram que o elemento foi capaz de beneficiar diversas culturas em concentrações adequadas como trigo (DUCSAY et al., 2016; GUERRERO et al., 2014; IDREES et al., 2018), milho (SHARMA; SHARMA; SINGH, 2018), cenoura (OLIVEIRA et al., 2018) e arroz (ZHANG et al., 2014).

O Se pode ser encontrado nos solos sob quatro estados de oxidação, na forma elementar (Se^0), na forma de seleneto (Se^{2-}), na forma de selenito (SeO_3^{2-}) e na forma de selenato (SeO_4^{2-}), em ordem crescente de oxidação (LOPES; ÁVILA; GUILHERME, 2017). Também pode ser

encontrado em formas orgânicas (compostos metilados, selenoaminoácidos, selenoproteínas e seus derivados) ou como dióxido de selênio nas cinzas provenientes da calcinação de minérios sulfetados. O selênio elementar é o mais estável e é praticamente não tóxico; o selenato é a forma mais oxidada, ocorrendo frequentemente no ambiente, além de ser altamente solúvel em água; o selenito é a forma menos oxidada e, o seleneto, predomina em compostos orgânicos (FISHBEIN, 1991; KABATA-PENDIAS; MUKHERJEE, 2007).

Os vegetais são as principais fontes alimentares de Se na maioria dos países do mundo, seguido de carnes e frutos do mar (ODS, 2016). As plantas têm a capacidade de absorver e mobilizar através de suas raízes o Se nas formas de selenato, selenito ou na forma de compostos orgânicos, como a selenometionina e selenocisteína (WHITE et al., 2004, 2007). O Se (selenato) e o enxofre (sulfato) apresentam comportamento químico semelhantes. Em função disso, julga-se que o selenato seja transportado através da membrana plasmática das células das raízes por meio dos transportadores de sulfato (BROADLEY et al., 2006; HAWKESFORD; ZHAO, 2007; SORS; ELLIS; SALT, 2005; WHITE et al., 2004, 2007). Por ambos utilizarem os mesmos transportadores e sítios de absorção, pode ocorrer competição no acúmulo, fazendo com que os teores de Se variem de acordo com a quantidade e disponibilidade dos teores de enxofre (sulfato). O selenato após ser translocado pode ser assimilado na forma de selenoaminácidos, proteínas e outros compostos através de enzimas de assimilação de sulfato (MEIJA et al., 2002; TERRY et al., 2000).

Também observa-se que o Se (selenito) e P (fosfato) apresentam comportamento semelhante, sendo movimentado por transportadores de fosfato, podendo competir pelos mesmos transportadores e sítios de absorção nas raízes das plantas, o que depende das concentrações e disponibilidade de ambos (HOPPER; PARKER, 1999; LI; MCGRATH; ZHAO, 2008; YONGHUA et al., 2008). Dessa forma, o selenito é rapidamente convertido em compostos de organo-selênio na raiz, enquanto o selenato é depositado no xilema e transportado na planta, onde são assimilados os compostos de organo-selênio e redistribuído no interior da mesma de um modo semelhante ao sulfato (HAWKESFORD; ZHAO, 2007; LI; MCGRATH; ZHAO, 2008).

A fitodisponibilidade de Se em solos depende, principalmente, de dois fatores: do pH e da umidade do solo, aos quais afetam o potencial redox do mesmo. Contudo, a presença de íons, como fosfato (PO_4^{2-}) e sulfato (SO_4^{2-}), que competem pelo mesmo sítio de troca, também pode interferir na mobilidade e disponibilidade de Se no solo (NAKAMARU; TAGAMI; UCHIDA, 2006; NAKAMARU; SEKINE, 2008). As formas que predominam em grande parte dos solos são as formas inorgânicas selenito (Se^{4+}) e selenato (Se^{6+}), sendo que, de acordo com que o Se

tem seu estado de oxidação aumentado, sua mobilidade no solo é facilitada. O Se elementar e os selenetos são indisponíveis às plantas e aos animais, ocorrendo em ambientes reduzidos, ácidos e ricos em material orgânico (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001; KABATA-PENDIAS, 2011).

O selenito predomina em regiões de alta umidade e em solos ácidos (pH 4,5 a 6,5) (KABATA-PENDIAS, 2011; NEAL, 1995). É menos disponível para as plantas em solos onde o pH é baixo e há o predomínio de sesquióxidos e matéria orgânica, em função da sua forte interação com os coloides do solo, principalmente com os óxidos. Entretanto, em ambientes onde predominam condições de neutralidade ou alcalinidade (pH 7,5 a 8,5), o selenito tende à oxidação, passando para a forma de selenato. As espécies de selenato são originadas de rochas sedimentares e ocorrem com maior frequência em solos com pH neutro e alcalino, de regiões de clima árido e semiárido (GIRLING, 1984; WHO, 1987). Com isso, essa forma de selênio é a mais solúvel e móvel no perfil do solo, sendo, portanto, facilmente disponibilizada para a absorção das plantas. Entretanto, devido a esta alta solubilidade, o selenato apresenta maior potencial tóxico. Quanto à umidade, o elemento é mais disponível para as plantas sob condições de baixa precipitação em função da alta mobilidade do selenato nas condições de pH de solos cultivados (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Em determinados países onde o papel do Se na saúde do homem e dos animais já é reconhecida, o teor total de Se nos solos tem recebido significativa atenção. O teor de Se nos solos do planeta está estimado na faixa de 0,01 a 2,0 mg Se kg⁻¹ (média de 0,4 mg kg⁻¹), sendo que, em regiões seleníferas, estes teores chegam a 1200 mg Se kg⁻¹ (CARVALHO et al., 2019; FORDYCE et al., 2005). O teor de selênio em regiões deficientes, não excede 0,1 mg kg⁻¹, como por exemplo em determinadas regiões da China, Dinamarca, Nova Zelândia, Finlândia, Austrália, parte leste da Europa, Rússia e África (COMBS, 2001). As regiões mais pobres nutricionalmente em Se estão na China, Tibete, Nepal e Austrália (VENDELAND; DEAGEN; BUTLER, 1994), embora também os solos do Cerrado, no Brasil, possam ser caracterizados como altamente deficientes neste elemento, por possuírem < 0,1 mg Se kg⁻¹ (CARVALHO et al., 2019). Por outro lado, em áreas seleníferas, como em determinadas áreas da China, o teor de Se pode chegar a 48 mg kg⁻¹ (LI; MCGRATH; ZHAO, 2008) ou até mesmo a 90 mg kg⁻¹, como ocorre nos EUA, além de determinadas regiões da Austrália, Canadá, Colômbia, Índia, Irlanda e Venezuela, que também possuem regiões com altas concentrações de Se no solo (COMBS, 2001; DHILLON; DHILLON, 2003).

De acordo com Lyons, Stangoulis e Graham (2003), solos com teores de Se menores que 0,6 mg kg⁻¹ são considerados deficientes. Em relação aos solos brasileiros, estudos

mostraram que esses apresentam baixos teores de Se, com níveis de 0,01 a 0,2 mg kg⁻¹, o que evidencia a deficiência desse elemento em algumas regiões do país (CARVALHO et al., 2019; FERREIRA et al., 2002; LOPES; ÁVILA; GUILHERME, 2017). Dessa forma, o Se apresenta potencial na biofortificação agronômica, uma vez que muitos solos de diversas regiões são deficientes neste elemento e, por consequência, a população dessas regiões são, também, deficientes.

2.5 Biofortificação com selênio

Existem diversos solos localizados em extensas áreas do mundo que apresentam baixos teores de Se e, como consequência, os alimentos cultivados nesses locais apresentam baixo teores desse elemento em sua composição, o que acarreta em um problema de deficiência generalizado, sendo cerca de 0,5 a 1 bilhão de pessoas no mundo deficientes nesse nutriente (COMBS, 2001). Com isso, para amenizar esse problema, vem sendo estudadas em diversos países estratégias para aumentar a ingestão de Se e, dentre elas, destaca-se a biofortificação, que é definida como o processo em que se aumenta a concentração biodisponível de elementos essenciais e benéficos aos seres humanos e animais em partes comestíveis de plantas cultivadas, por meio da intervenção agrícola e/ou da seleção genética (WHITE; BROADLEY, 2005).

A biofortificação com Se em culturas agronômicas de interesse pode ser realizada das seguintes formas: adição de forma aquosa em cultivo hidropônico; aplicação foliar e em frutas; embebição de sementes por solução rica em Se antes das mesmas serem semeadas; adubação via solo; fertilizantes NPK enriquecidos e melhoramento genético (CAKMAK, 2008; PUCCINELLI; MALORGIO; PEZZAROSSA, 2017). Esta quando feita por meio da aplicação do Se, seja por via foliar ou aplicação direta no solo, pode fornecer benefícios contínuos ano após ano, a um custo menor ao uso de suplementos alimentares e da fortificação de produtos pós-colheita nas indústrias (GRAHAM et al., 2007).

Em 1984, o Ministério de Agricultura e Florestas da Finlândia iniciou a suplementação de fertilizantes minerais com selenato de sódio, devido ao aumento dos casos de câncer e problemas cardíacos na população. A princípio, a suplementação foi constituída de 16 mg kg⁻¹ de Se para cereais e hortaliças, e de 6 mg kg⁻¹ de Se para pastagens. Após diversas pesquisas, em 1998, foi estipulado em 10 mg kg⁻¹ o teor de Se em fertilizantes (EUROLA et al., 2003). Com isso, os teores de Se no solo aumentaram e, conseqüentemente, houve também o aumento deste elemento nos alimentos, de modo que seu nível nos alimentos ficou dentro dos limites considerados seguros e adequados, incrementando a produção de muitas culturas

(HARTIKAINEN, 2005). Através deste programa, a média de ingestão de Se na Finlândia aumentou de 25 mg dia⁻¹ para 110 mg dia⁻¹ (EUROLA et al., 1991), fazendo com que a concentração do nutriente no plasma sanguíneo fosse quase o dobro. Várias pesquisas demonstraram que esta estratégia reduziu os índices de doenças cardiovasculares, imunológicas e inúmeros tipos de câncer na população (ARTHUR, 2003). O Reino Unido também adotou a prática, e muitos outros países europeus também estudam adotar essa medida (BROADLEY et al., 2006).

Recentemente, diversos trabalhos têm sido realizados e demonstraram a eficácia da biofortificação com Se no acúmulo deste elemento em muitas culturas alimentares. Pode-se observar que grande parte dos estudos a respeito da biofortificação com Se envolvem hortaliças, principalmente pelo fato de muitas delas serem consideradas alimento base da população de diversos países. Ao aplicar a dose de 100 µM de Se na forma de selenato e selenito de sódio em brotos de brócolis, Ávila et al. (2013) verificaram acúmulos de 263 e 185 µg g⁻¹ de Se na forma de selenato e selenito de sódio na massa seca, respectivamente. Ramos et al. (2011a), ao avaliarem a variação genotípica em acessos de brócolis em resposta às concentrações 0 e 20 µM de selênio, constataram que todos os acessos acumularam altas concentrações deste elemento e, que a aplicação de Se na concentração adequada não afetou negativamente o crescimento das plantas e o teor de enxofre. Com a aplicação de 50 µM de Se na forma de selenato em brotos de couve-flor, Ávila et al. (2014) obtiveram a concentração de 230 µg g⁻¹ de Se na massa seca.

Poggi et al. (2000) verificaram que o Se fornecido na forma de selenato e selenito, via adubação foliar em batata, aumentou a concentração do elemento nos tubérculos com o fornecimento de até 150 g ha⁻¹ de Se. Ao fornecer o máximo de Se (0,9 mg dm⁻³ de solo) em tubérculos de batata, Turakainen (2007) observou que houve um incremento em torno de 20 µg g⁻¹ de Se nestes. Segundo Ramos et al. (2011b), o selenato aplicado na parte aérea de acessos de alface (15 µM de Se) foi capaz de promover um maior acúmulo de Se em relação aos acessos tratados com selenito. Foi relatado, ainda, por esses autores, que existe uma relação sinérgica entre a presença de selênio e o acúmulo de enxofre em quase todos os acessos tratados com selenato. Ao estudar doses (0; 10 e 20 µM) e formas de Se (selenato e selenito), Almeida (2010) também evidenciou que a aplicação do selenato em cultivares de alface resultou em aumento no teor de enxofre na parte aérea. Com isso, pode-se inferir que a biofortificação representa alternativa viável para incrementar alimentos com elementos considerados benéficos à saúde humana, devendo também ser considerada em espécies como as PANCs.

2.6 O selênio na saúde humana

Quando o Se é ingerido de maneira adequada, este pode trazer diversos benefícios para a saúde humana, podendo prevenir o surgimento de doenças crônicas como a aterosclerose, câncer, artrite, cirrose e enfisema, além de retardar o envelhecimento, preservar a elasticidade dos tecidos e neutralizar os radicais livres (SOUZA; MENEZES, 2004). Com isso, pode-se dizer que o elemento apresenta como sua principal função a atividade antioxidante (COZZOLINO, 2016). Pesquisas têm indicado importantes benefícios deste elemento na redução da incidência de câncer de próstata, cólon e pulmão, demonstrando que o consumo de Se está diretamente associado à redução da incidência desta doença em humanos (CLARK et al., 1996; IP et al., 1991; LAÛCHI, 1993; RAYMAN, 2012).

Inicialmente, o Se foi considerado um elemento tóxico para os animais e humanos, pelo fato de ser um elemento que apresenta relação bastante estreita entre teores tóxicos e de deficiência (cerca de 10 vezes). Todavia, em 1957, ao promover a defesa hepática em ratos deficientes em vitamina E, este teve sua essencialidade comprovada para humanos e animais (ZENG, 2009). A toxicidade por Se em humanos causa danos aos rins e ao fígado, coagulação sanguínea, necrose do coração e fígado, lesões na pele, perda de cabelo e unha, descoloração e perda dos dentes, cáries, náusea, vômito e odor de alho na boca (WHO, 1987), além de irritabilidade, fadiga, aborto e infertilidade (COZZOLINO, 2016). Entretanto, sua deficiência também deve ser considerada, uma vez que, apesar de ter sua principal função ligada à atividade antioxidante, também pode interferir no metabolismo da glândula tireoide (COZZOLINO, 2016).

O Se atua em conjunto com a glândula tireoide, participando da síntese de dois importantes hormônios, o tri-iodotironina (T3), a forma ativa que ocorre no fígado, rins e tireoide, e o tiroxina (T4), a forma inativa produzida apenas pela tireoide, hormônios cujas principais funções são aumentar ou diminuir o metabolismo celular (ARTHUR; BECKETT, 1999).

A função nutricional deste elemento é exercida principalmente por selenoenzimas e selenoproteínas como a glutathiona peroxidase, que está envolvida na proteção antioxidante, a tioredoxina redutase, que tem regulação redox, e a iodotironina 5' deiodinase, que atua na regulação hormonal e no metabolismo. Além disso, o Se faz parte de um dos sítios ativos da selenocisteína, que é crucial para as funções biológicas no corpo humano (DRISCOLL; COPELAND, 2003; LARSEN; BERRY, 1995; RAYMAN, 2012; RIAZ; MEHMOOD, 2012; TAMURA; STADTMAN, 1996).

Existem duas doenças que estão diretamente associadas à deficiência de Se nos seres humanos. Uma delas é a doença de Keshan, que é uma cardiomiopatia endêmica que afeta crianças e mulheres na idade fértil, acarretando aumento do coração, insuficiência cardíaca, arritmia e padrões anormais de eletrocardiograma (ECG). Esta doença ocorre do nordeste ao sudoeste da China, onde os solos apresentam baixos teores de Se e, conseqüentemente, onde a concentração desse elemento nos alimentos básicos é muito baixa (COMBS, 2001; FAO, 2001). A outra doença é conhecida como Kashin-Beck, que é uma osteoartropatia e afeta crianças, ocasionando atrofia, degeneração e necrose do tecido cartilaginoso e, deterioração da articulação (WHO, 1987; RAYMAN, 2012). Esta doença tem sido detectada na China em crianças de cinco a treze anos de idade e, com menor frequência, no sudeste da Sibéria (FAO, 2001).

Além de acarretar doenças nos seres humanos, a deficiência de Se também pode levar ao desenvolvimento de doenças em animais, como a doença do músculo branco (distrofia muscular) em ovelhas e bovinos, que ocorre frequentemente em regiões de alto índice pluviométrico devido à maior mobilidade do elemento no solo e, onde a quantidade de Se nas plantas forrageiras é pequena devido ao baixo teor deste elemento no solo (WHANGER et al., 1977). Além disso, a deficiência de Se pode causar distrofia do miocárdio em suínos (WHO, 1987).

De acordo com algumas pesquisas, baixas concentrações de Se no plasma sanguíneo apresentam alta correlação com infecções virais, mostrando que a deficiência de Se apresenta profundo impacto na replicação do RNA viral, o que colabora para o surgimento de novas cepas virais e, conseqüentemente, no aumento da virulência e no agravamento de doenças como resfriado comum, ebola e AIDS (BECK; LEVANDER; HANDY, 2003). Em relação ao vírus da AIDS, estudos *in vitro* mostraram que o Se funcionou como um potente inibidor da replicação do vírus, concluindo que este elemento é um importante nutriente e pode ser introduzido na alimentação de indivíduos infectados com esse vírus (SAPPEY et al., 1994).

A ingestão diária de Se na alimentação humana varia muito entre indivíduos e regiões, uma vez que cada um possui uma determinada dieta e este elemento está presente em diferentes concentrações nos alimentos, estando relacionado também com a presença deste elemento nos solos de cada região. De acordo com um resumo sobre a ingestão de Se em adultos de diferentes países, os valores obtidos variaram de 7 a 11 $\mu\text{g dia}^{-1}$ em áreas onde ocorre a doença de Keshan, cujos solos apresentam baixos teores de Se, a vários milhares de $\mu\text{g dia}^{-1}$ em áreas seleníferas, como no município de Enshi, na China Central (COMBS, 2001).

Não existem levantamentos sobre a deficiência de Se na população brasileira, porém, as evidências de insuficiência desse elemento em várias regiões do país são grandes (FERREIRA et al., 2002; MAIHARA et al., 2004), possivelmente devido ao baixo teor de Se na maioria dos solos agricultáveis (CARVALHO et al., 2019; FARIA, 2009; MORAES et al., 2009). Combs (2001) sugeriu que a concentração de Se plasmático acima de $120 \mu\text{g L}^{-1}$ poderia minimizar os riscos de câncer. Para manter esta concentração de Se no plasma, é recomendada a ingestão de aproximadamente $1,5 \mu\text{g Se kg}^{-1}$ de massa corporal por dia, o equivalente a 90 e $120 \mu\text{g dia}^{-1}$, para uma pessoa de 60 e 80 kg , respectivamente. Clark et al. (1996) relataram que a ingestão de $200 \mu\text{g dia}^{-1}$ de Se pode reduzir o risco de desenvolver câncer de próstata, de pulmão ou do colo retal. Recentemente, tem-se recomendado a ingestão de $55 \mu\text{g dia}^{-1}$ de Se (WHITE, 2016).

Com isso, a biofortificação com Se em PANCs traria diversos benefícios para os seres humanos, atuando na prevenção de muitas doenças, com destaque para o câncer, uma doença que vem se tornando cada vez mais frequente e agravante nos últimos tempos, além de outras doenças que ocorrem com frequência, como problemas no coração e catarata.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A biofortificação agrônômica é uma estratégia eficiente para a adição de determinados nutrientes deficientes nas populações, sendo que várias espécies se mostram aptas a tal prática. Sabe-se que a carência nutricional de determinada população se deve ao fato de seus solos e sua dieta serem pobres nutricionalmente. A deficiência de Se na população mundial é significativa, porém, se ingerido em concentrações adequadas é capaz de trazer diversos benefícios para a saúde humana, através da prevenção de muitas doenças. Com isso, a biofortificação com Se é uma estratégia para sanar esse problema, sendo que o ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) representa uma espécie com potencial na biofortificação com esse elemento, uma vez que também pode proporcionar muitos benefícios para a saúde humana e ajudar na prevenção de doenças, além de funcionar como alternativa para a diversificação alimentar. Nesse sentido, são necessários estudos que avaliem não só parâmetros agrônômicos, mas também de qualidade nutricional das plantas, para que se possa avaliar o potencial de biofortificação dessas.

REFERÊNCIAS

- ACCORSI, W.; DOSOUTO, R. Ladainha Comestível. **Revista Globo Rural**, São Paulo, v. 244, p. 2, 2006.
- AGOSTINI-COSTA, T. S. et al. Carotenoids profile and total polyphenols in fruits of *Pereskia aculeata* Miller. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 1, p. 234-238, 2012.
- ALBUQUERQUE, M. G. P. T.; SABAA SRUR, A. U. O.; FREIMAN, L. O. Composição centesimal e escore de amino-ácidos em três espécies de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill. P. bleu De Candolle e *P. pereskia* (L) Karsten). **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 7-12, 1991.
- ALMADA FILHO, C. M. Antioxidantes e radicais livres. In: FREITAS, E. V. et al. **Tratado de geriatria e gerontologia**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 2002. cap. 89, p. 744-748.
- ALMEIDA FILHO, J.; CAMBRAIA, J. Estudo do valor nutritivo do “ora-pro-nobis” (*Pereskia aculeata* Mill.). **Revista Ceres**, v. 21, n. 114, p. 105-111, 1974.
- ALMEIDA, H. J. **Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação de cultivares de alface**. 2010. 65 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- ALMEIDA, M. E. F.; CORRÊA, A. D. Utilização de cactáceas do gênero *Pereskia* na alimentação humana em um município de Minas Gerais. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 4, p. 751-56, 2012.
- ALMEIDA; M. E. F. et al. Caracterização química das hortaliças não-convencionais conhecidas como ora-pro- nobis. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 431-439, 2014.
- ALTESOR, A. et al. Changes in the photosynthetic metabolism during the early ontogeny of 4 cactus species. **Acta Oecologica/International Journal of Ecology**, v. 13 p. 777-85, 1992.
- ARTHUR, J. R. Selenium supplementation: does soil supplementation help and why? **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, n. 2, p. 393-397, 2003.
- ARTHUR, J. R.; BECKETT, G. J. Thyroid function: review. **British Medical Bulletin**, Oxford (UK), v. 55, p. 658–668, 1999.
- ÁVILA, F. W. et al. Assessment of the Anticancer Compounds Se-Methylselenocysteine and Glucosinolates in Se-Biofortified Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) Sprouts and Florets. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 6216-6223, 2013.
- ÁVILA, F. W. et al. Impact of selenium supply on Se-methylselenocysteine and glucosinolate accumulation in selenium-biofortified Brassica sprouts. **Food Chemistry**, v. 165, p. 578-586, 2014.

BARBOSA, C. K. R. et al. Manejo e conservação pós-colheita de *Pereskia aculeata* Mill. em temperatura ambiente. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, 2012.

BARROS, K. N. et al. **Desenvolvimento de formulação de uso tópico com ação cicatrizante contendo extrato de *Pereskia aculeata***. 2010. Iniciação Científica- CESUMAR, v. 12, n. 1, p. 29-37, jan./jun. 2010.

BARROS, K. N. et al. Desenvolvimento de uma pomada contendo extrato de *Pereskia aculeata*. In: **Encontro internacional de produção científica Cesumar**. Maringá: Ed. Cesumar, 2009. cap. 7, p. 1-4.

BECK, M. A.; LEVANDER, O. A.; HANDY, J. Selenium deficiency and viral infection. **Journal of Nutrition**, v. 133, n. 5, p. 1463-1467, 2003.

BEMILLER, J. N.; HUBER, K. C. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Ed. Artmed, 2010. p.75-130.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo, **Manual de hortaliças não convencionais**, Brasília, p. 92, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Série F. Comunicação e Educação em Saúde, **Alimentos regionais brasileiros**, Brasília, DF, 2002.

BRESSAN, R. A. et al. Stress-adapted extremophiles provide energy without interference with food production. **Food Security**, v. 3, n. 1, p. 93-105, 2011.

BROADLEY, M. R. et al. Biofortification of UK food crops with selenium. **Proceedings of the Nutrition Society**, n. 65, p. 169-181, 2006.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, v. 302, n. 1-2, p. 1-17, 2008.

CARVALHO, E. G. et al. Wound healing properties and mucilage content of *Pereskia aculeata* from different substrates. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 24, n. 6, p. 677-682, 2014.

CARVALHO, G. S. et al. Selenium and mercury in Brazilian Cerrado soils and their relationships with physical and chemical soil characteristics. **Chemosphere**, v. 218, p. 412-415, 2019.

CLARK, L. C. et al. Effect of Se supplementation for cancer prevention in patient with carcinoma of the skin. **JAMA**, v. 276, p. 1957-1963, 1996.

COMBS, G. F. Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. 5, p. 517-547, 2001.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de Nutrientes**. 5. ed. São Paulo: Ed. Manole, 2016.

DAU, L.; LABORIAU, L. G. Temperature control of seed germination in *Pereskia aculeata* Mill. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 2, n. 46, p. 311-322, 1974.

DHILLON, K. S.; DHILLON, S. K. Distribution and management of seleniferous soils. **Advances in Agronomy**, v. 79, n. 1, p. 119-184, 2003.

DIAS, A. C. P. et al. Avaliação do consumo de hortaliças não convencionais pelos usuários das unidades do programa saúde da família (PSF) de Diamantina, MG. **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 3, p. 279-284, 2005.

DIPLOCK, A. T. et al. Functional food science and defence against reactive oxidative. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 80, n. 1, p. 77-112, 1998.

DRISCOLL, D. M.; COPELAND, P. R. Mechanism and regulation of selenoprotein synthesis. **Annual Review of Nutrition**, v. 23, n. 3, p. 17-40, 2003.

DUARTE, M. R.; HAYASHI, S. S. Estudo anatômico de folha e caule de *Pereskia aculeata* Mill. (Cactaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 2, p. 103-109, 2005.

DUCSAY, L. et al. Possibility of selenium biofortification of winter wheat grain. **Plant Soil Environment**, v. 62, p. 379–383, 2016.

EDWARDS, E. J.; DIAZ, M. Ecological physiology of *Pereskia guamacho*, a cactus with leaves. **Plant, Cell and Environment**, v. 29, p. 247-256, 2006.

EDWARDS, E. J.; NYFFELER, R.; DONOGHUE, M. J. Basal cactus phylogeny: implications of *Pereskia* (Cactaceae) paraphyly for the transition to the cactus life form. **American Journal of Botany**, v. 92, n. 7, p. 1177-1188, 2005.

EUROLA, M. et al. Results of the Finnish selenium program. **Agrifood research reports**, p. 2000-2001, 45 p., 2003. Disponível em: <<http://www.mtt.fi/met/pdf/met36.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

EUROLA, M. H. et al. Selenium in Finnish foods after beginning the use of selenate-supplemented fertilisers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 56, n. 1, p. 57-70, 1991.

HARTIKAINEN, H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 18, n. 4, p. 309- 318, 2005.

HAWKESFORD, M. J.; ZHAO, F. J. Strategies for increasing the selenium content of wheat. **Journal Cereal Science**, v. 46, p. 282-292, 2007.

HOPPER, J. L.; PARKER, D. R. Plant availability of selenite and selenate as influenced by the competing ions phosphate and sulfate. **Plant and Soil**, v. 210, n. 2, p. 199-207, 1999.

IDREES, M. et al. Selenium nutrition for yield enhancement and grain biofortification of wheat through different application methods. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 20, p. 1701–1709, 2018.

IP, C. et al. Chemical form of Se, critical metabolites, and cancer prevention. **Cancer Research**, v. 21, p. 595-600, 1991.

KABATA-PENDIAS, A. Trace elements in soils and plants. **CRC Press**, New York, v. 4, 2011.

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

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. **CRC Press**, Boca Raton, p. 413, 2001.

KINUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. Teores de proteína e minerais de espécies nativas, potenciais hortaliças e frutas. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 846- 857, 2008.

KINUPP, V. F. **Plantas alimentícias não-convencionais da região metropolitana de Porto Alegre, RS**. 2007. Tese (Doutorado - Área de concentração em Fitotecnia) – Departamento de Horticultura e Silvicultura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KINUPP, V. F. Plantas alimentícias alternativas no Brasil: uma fonte complementar de alimento e renda. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 1, n. 1, p. 333-336, 2006.

LARSEN, P. R.; BERRY, M. J. Nutritional and hormonal-regulation of thyroid hormone deiodinases. **Annual Review of Nutrition**, v. 15, n. 3, p. 323-352, 1995.

LAÛCHI, A. Selenium in plants: uptake, function, and environmental toxicity. **Botanica Acta**, v. 106, p. 455-468, 1993.

LEUENBERGER, B. E. Leaf-bearing cacti (Genus *Pereskia*) in cultivation. **Cactus and Succulent Journal**, Claremont, CA, v. 64, n. 5, p. 247-263, 1992b.

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

LIMA-JUNIOR, F. A. et al. Response surface methodology for optimization of the mucilage extraction process from *Pereskia aculeata* Miller. **Food Hydrocolloids**, v. 33, n. 1, p. 38-47, 2013.

LOPES, G.; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, L. R. G. Selenium behavior in the soil environment and its implication for human health. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 605-615, 2017.

LYONS, G., STANGOULIS, L., GRAHAM, R. High-selenium wheat: biofortification for better health. **Nutrition Research Reviews**, v. 16, p. 45–60, 2003.

MADEIRA, N. R.; SILVEIRA, G. S. R. Ora-pro-nobis. **Globo Rural**, São Paulo, SP, v. 294, p. 100-101, abr. 2010.

MADEIRA, N. R. et al. Manual de produção de Hortaliças Tradicionais. **Embrapa**, Brasília, DF, p. 155, 2013.

MAIHARA, V. A. et al. Daily dietary selenium intake of selected Brazilian population groups. **Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry**, v. 259, n. 3, p. 465-468, 2004.

MAZIA, R. S. Influência do tipo de solo usado para o cultivo de *Pereskia aculeata* sobre propriedade proteica. **Revista Saúde e Pesquisa**, v. 5, n. 1, p. 59-65, 2012.

MEIJA, J. et al. Simultaneous monitoring of volatile selenium and sulfur species from Se accumulating plants (wild type and genetically modified) by GC/MS and GC/ICPMS using solid-phase microextraction for sample introduction. **Analytical Chemistry**, v. 74, n. 22, p. 5837-5844, 2002.

MERCÊ, A. L. R. et al. Complexes of arabinogalactan of *Pereskia aculeata* and Co^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , and Ni^{2+} . **Bioresource Technology**, v. 76, n. 1, p. 29-37, 2001.

MORAES, M. F. et al. Evidences of selenium deficiency in Brazil: from soil to human nutrition. In: **International conference on selenium in the environment and human health, Proceeding**. Suzhou: ICS, 2009. p. 73-74.

MUNIZ, H. J. T. **Colecionando frutas**. 1. ed. São Paulo: Arte e Ciência. v. 1, 352 p., 2008.

NAKAMARU, Y. M.; SEKINE, K. Sorption behavior of selenium and antimony in soils as a function of phosphate ion concentration. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 54, n. 3, p. 332-341, May 2008.

NAKAMARU, Y.; TAGAMI, K.; UCHIDA, S. Effect of phosphate addition on the sorption-desorption reaction of selenium in Japanese agricultural soils. **Chemosphere**, Oxford, v. 63, n. 1, p. 109-115, Mar. 2006.

NASCIMENTO, V. T. et al. Knowledge and Use of Wild Food Plants in Areas of Dry Seasonal Forests in Brazil. **Ecology of Food and Nutrition**, v. 52, n. 4, p. 317-43, 2013.

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

NESBITT, M. et al. Linking biodiversity, food and nutrition: The importance of plant identification and nomenclature. **Journal of food composition and analysis**, v. 23, n. 6, p. 486-98, 2010.

ODS (Office of Dietary Supplements). **Selenium: Dietary supplement fact sheet**. Health Information. US Department of Health and Human Services, National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements, Washington, DC, 2016.

OLIVEIRA, C. D. D. de. **Avaliação do potencial antimicrobiano e tripanocida de *Pereskia aculeata* Miller**. 2008. 56 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de Franca, Franca, 2008.

OLIVEIRA, L. M. D. et al. Aproveitamento de frutos de ora-pro-nobis para elaboração de geleia. In: **Mostra científica do instituto federal do triangulo mineiro**. Uberlândia: IFTM, 2011. p. 1-4, 2011.

OLIVEIRA, V. C. et al. Agronomic biofortification of carrot with selenium. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, p. 138-147, 2018.

- PILLA, M. A. C.; AMOROZO, M. O conhecimento sobre os recursos vegetais alimentares em bairros rurais no Vale do Paraíba, SP, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 23, n. 4, p. 1190-1201, 2009.
- POGGI, V. et al. Foliar Application of Selenite and Selenate to Potato (*Solanum tuberosum*): Effect of a Ligand Agent on Selenium Content of Tubers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 4749-4751, 2000.
- PUCCINELLI, M.; MALORGIO, F.; PEZZAROSSA, B. Selenium enrichment of horticultural crops. **Molecules**, v. 22, n. 6, p. 1–18, 2017.
- RAMOS, S. J. et al. Evaluation of genotypic variation of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) in response to selenium treatment. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 3657-3665, 2011a.
- RAMOS, S. J. et al. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. **Plant Soil and Environment**, v. 56, p. 584-588, 2010.
- RAMOS, S. J. et al. Selenium accumulation in lettuce germplasm. **Planta**, v. 233, p. 649-660, 2011b.
- RAYMAN, M. P. Selenium and human health. **Lancet**, v. 379, n. 9822, p. 1256-1268, 2012.
- RAYMAN, M. P. The argument for increasing selenium intake. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 61, n. 2, p. 203-215, 2002.
- RIAZ, M.; MEHMOOD, K. T. Selenium in human health and disease: a review. **Journal of Postgraduate Medical Institute**, v. 26, n. 2, p. 120-133, 2012.
- ROCHA, D. R. C. et al. Macarrão adicionado de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller) desidratado. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 4, p. 459-465, 2008.
- ROSA, S. M.; SOUZA, L. A. Morfo-anatomia do fruto (hipanto, pericarpo e semente) em desenvolvimento de *Pereskia aculeata* Miller (Cactaceae). **Biological Sciences**, v. 25, n. 2, p. 415-428, 2003.
- ROVIRA, M. et al. Sorption of selenium (IV) and selenium (VI) onto natural iron oxides: goethite and hematite. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, p. 279-284, 2008.
- ROYO, V. A. de. et al. Avaliação da atividade antimicrobiana do extrato bruto de ramos de *Pereskia aculeata* Mill. In: **Encontro regional da sociedade brasileira de química, xix, Ouro Preto, MG**. Ouro Preto: Ed. SBQ, 2005. p. 171, 2005.
- SANTOS, I. C. et al. **Ora-pro-nobis: da cerca à mesa**. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG. Circular técnica, n. 177, 2012.
- SANTOS, L. S. et al. Produção de licor de frutos de ora-pro-nobis. In: **Mostra científica e tecnológica de alimentos**. Uberlândia: IFTM, 2011. p. 1-4, 2011b.

- SAPPEY, C. et al. Stimulation of glutathione peroxidase activity decreases HIV Type-1 activation after oxidative stress. **AIDS Research and Human Retroviruses**, v. 10, n. 11, p. 1451-1461, 1994.
- SARTOR, C. F. P. et al. Estudo da ação cicatrizante das folhas de *Pereskia aculeata*. **Revista Saúde e Pesquisa**, v. 3, n. 2, p. 149-154, 2010.
- SHARMA, S.; SHARMA, A.; SINGH, D. Effect of sodium selenate on photosynthetic efficiency, antioxidative defence system and micronutrients in maize (*Zea mays*). **Biologia**, v. 73, p. 137-144, 2018.
- SIERAKOWSKI, M-R. et al. Some structural features of a heteropolysaccharide from the leaves of the cactus *Pereskia aculeata*. **Phytochemistry**, v. 26, n. 6. p. 1709-1713, 1987.
- SILVA JÚNIOR, A. A. et al. Pão de ora-pro-nobis - um novo conceito de alimentação funcional. **Agropecuária Catarinense**, v. 23, n. 1, p. 35-37, 2010.
- SILVEIRA, M. G. **Ensaio nutricional de *Pereskia* spp.: Hortaliza não convencional**. 2016. 174 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynthesis Research**, v. 86, p. 373-389, 2005.
- SOUZA, C. O. et al. Associação entre inatividade física e excesso de peso em adolescentes de Salvador, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 13, n. 3, p. 468-475, 2010.
- SOUZA, L. F. **Aspectos fitotécnicos, bromatológicos e componentes bioativos de *Pereskia aculeata*, *Pereskia grandifolia* e *Anredera cordifolia***. 2014. 113 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Processamentos de amêndoa e torta de castanha-do-brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 120-128, 2004.
- SOUZA, M. R. R. et al. O potencial do ora-pro-nobis na diversificação da produção agrícola familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 3550-3554, 2009.
- TAKAO, T. et al. A simple screening method for antioxidants and isolation of several antioxidants produced by marine-bacteria from fish and shellfish. **Bioscience Biotechnology and Biochemistry**, Tokyo, v. 58, n. 10, p. 1780-1783, 1994.
- TAKEITI, C. Y. et al. Nutritive evaluation of non-conventional leafy vegetable (*Pereskia aculeata* Miller). **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 60, n. 1, p. 148-160, 2009.
- TAMURA, T.; STADTMAN, T. C. A new selenoprotein from human lung adenocarcinoma cells: purification, properties, and thioredoxin reductase activity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 93, n. 3, p. 1006- 1011, 1996.

- TERRY, N. et al. Selenium in higher plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 51, n. 1, p. 401–432, 2000.
- TINGGI, U. Essentiality and toxicity of selenium and its status in Australia: a review. **Toxicology Letters**, v. 137, p. 103-110, 2003.
- TOFFANELI, M. B. D.; RESENDE, S. G. Sistemas de condução na produção de folhas de Ora-pro-nobis. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 466-469, 2011.
- TURAKAINEN, M. **Selenium and its effects on growth, yield and tuber quality in potato**. University of Helsinki, Department of Applied Biology, Publication 30, Helsinki, 50 p. 2007.
- VALENTE, L. M. M. et al. Evaluation of the antitumor and trypanocidal activities and alkaloid profile in species of Brazilian Cactaceae. **Pharmacognosy Magazine**, v. 3, n. 11, p. 167-172, 2007.
- VALKO, M. et al. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. **Chemico-Biological Interactions**, Amsterdam, v. 160, n. 1, p. 1-40, 2006.
- VASQUES-ARAUJO, T.; JOAQUIM, W. M. **Análise da germinação de sementes de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*) in vitro**. X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, Universidade do Vale do Paraíba, 2007.
- VENDELAND, S. C.; DEAGEN, J. T.; BUTLER, J. A. Uptake of selenite, selenomethionine and selenate by brush border membrane vesicles isolated from rat small intestine. **Biometals**, v. 7, n. 4, p. 305-312, 1994.
- VERA-RAMIREZ, L. et al. Free radicals in breast carcinogenesis, breast cancer progression and cancer stem cells. Biological bases to develop oxidative-based therapies. **Critical Reviews in Oncology/Hematology**, Amsterdam, v. 80, n. 3, p. 347-368, 2011.
- VOGGESESSER, G. et al. Cultural impacts to tribes from climate change influences on forests. **Climatic change**, v. 120, n. 3, p. 615-26, 2013.
- WHANGER, P. D. et al. Effects of selenium and vitamin E on blood selenium levels, tissue glutathione peroxidase activities and White muscle disease in sheep fed purified or hay diets. **Journal of Nutrition**, v. 107, n. 7, p. 1298-1307, 1977.
- 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. et al. Selenium and its relationship with sulfur. Em M. Hawkesford, & L. Kok, Sulfur in plants – an ecological perspective. **Springer**, Dordrecht, p. 225- 252, 2007.
- WHITE, P. J. Selenium accumulation by plants (Review). **Annals of Botany**, Oxford, v. 117, p. 213-235, 2016.
- WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v. 182, p. 49-84, 2009.

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

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (WHO). **Environmental health criteria for selenium**. Geneva, 1987. Disponível em:

<<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc58.htm>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

YONGHUA, L. I. et al. Environmental behaviors of selenium in soil of typical selenosis area, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, n. 7, p. 859-864, 2008.

ZAPPI, D. et al. **Cactaceae in lista de espécies da flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:

<<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1636>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

ZENG, H. Selenium as an essential micronutrient: roles in cell cycle and apoptosis. **Molecules**, v. 14, n. 3, p. 1263-1278, 2009.

ZHANG, M. et al. Selenium uptake, dynamic changes in selenium content and its influence on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in rice (*Oryza sativa* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 107, p. 39-45, 2014.

ZHANG, Y. L. et al. Uptake and transport of selenite and selenate by soybean seedlings of two genotypes. **Plant and Soil**, v. 253, p. 437-443, 2003.

ZHAO, Y. et al. β -sitosterol inhibits cell growth and induces apoptosis in SGC-7901 human stomach cancer cells. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 12, p. 5211-5218, mai. 2009.

CAPÍTULO 2 – ARTIGO

ARTIGO 1: BIOFORTIFICAÇÃO DE ORA-PRO-NOBIS (*Pereskia aculeata* Mill.) COM A APLICAÇÃO DE FONTES INORGÂNICAS DE SELÊNIO VIA SOLO

Stefânia Barros Zauza¹; Filipe Aiura Namorato²; Luiz Roberto Guimarães Guilherme², Joyce Doria¹

¹Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 37200-900, Brasil.

²Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 37200-900, Brasil.

*Elaborado de acordo com as normas da UFLA

RESUMO

O Se é um elemento considerado benéfico para as plantas, uma vez que sua essencialidade para estas ainda não foi comprovada. A biofortificação com Se tem sido uma alternativa para minimizar problemas relacionados com a deficiência desse nutriente no organismo humano. Dessa forma, o ora-pro-nobis demonstra ser uma planta com potencial para tal prática, uma vez que apresenta significativo valor nutritivo em suas folhas. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de biofortificação do ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*) com selênio, assim como o efeito desse elemento em diferentes doses na qualidade nutricional e nos parâmetros agrônômicos da mesma. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial 2 x 6, sendo duas fontes de selênio aplicadas via solo (selenato e selenito), seis doses de selênio (0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 mg de Se kg⁻¹ de solo), com quatro repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. Com o aumento das doses de Se, ocorreu a diminuição da produção de matéria seca de caule e fresca de folhas, no tratamento com selenato, diminuindo também o conteúdo de lipídeos das folhas. Na variável cinzas, independente das fontes, até a dose 4,0 mg kg⁻¹ de Se, ocorreu o aumento desta e, a partir dessa dose, o conteúdo de cinzas se manteve constante. O efeito da aplicação de Se no conteúdo de carboidratos foi significativo apenas quando se aplicou o selenato, diminuindo até a dose 1,0 mg kg⁻¹, mantendo-se constante até a dose 4,0 mg kg⁻¹ e, a partir disso, com o aumento da dose, observou-se um pequeno aumento dessa variável. O selênio foi capaz de afetar o conteúdo de nutrientes nas folhas sendo que o enxofre e o ferro aumentaram com a dose de 2,0 mg kg⁻¹ de Se na forma de selenato e 4,0 mg kg⁻¹ de Se na forma de selenito, respectivamente. O conteúdo de Mg foi afetado na dose 1,0 mg kg⁻¹ quando foi feita a aplicação de selenito e na dose 8,0 mg kg⁻¹ quando foi feita a aplicação de selenito, ocorrendo uma redução da absorção desse elemento pelas plantas. Suas folhas foram capazes de absorver teores totais de Se próximos a 850 mg kg⁻¹ com a fonte de selenato, na dose máxima aplicada (8,0 mg kg⁻¹ de Se). Apesar disso, este elemento causou toxicidade nas plantas, o que refletiu no comprometimento do seu crescimento, levando ao aparecimento de sintomas de toxicidade. A espécie pode ser classificada como uma acumuladora de Se, uma vez que foi capaz de acumular entre 100 e 1000 mg kg⁻¹ de Se em seus tecidos. Entretanto, apesar dessa possível classificação, nas doses em que as plantas foram capazes de acumular altas concentrações de Se com a fonte selenato, ocorreu toxicidade nas plantas, o que mostra que o fato delas acumularem muito Se nos seus tecidos não foi interessante, uma vez que causou danos fisiológicos e de produção à elas.

Palavras-chave: Selênio. Biofortificação. Selenato. Selenito. Ora-pro-nobis.

ABSTRACT

Se is an element considered beneficial for plants, since its essentiality for them has not yet been proven. Biofortification with Se has been an alternative to minimize problems related to the deficiency of this nutrient in the human body. Thus, the ora-pro-nobis demonstrates to be a plant with the potential for such practice, since it has significant nutritional value in its leaves. The aim of this study was to evaluate the biofortification potential of ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*) with selenium, as well as the effect of this element in different doses on its nutritional quality and agronomic parameters. The experiment was conducted in a greenhouse, following a completely randomized design, with a 2 x 6 factorial scheme, with two sources of selenium applied via soil (selenate and selenite), six doses of selenium (0; 0.5; 1.0 ; 2.0, 4.0 and 8.0 mg of Se kg⁻¹ of soil), with four repetitions, totaling 48 experimental plots. With the increase in Se doses, there was a decrease in the production of fresh leaf and stem dry matter, in the treatment with selenate, also decreasing the lipid content of the leaves. In the ash variable, independent of the sources, up to the 4.0 mg kg⁻¹ dose of Se, there was an increase in it and, from that dose, the ash content remained constant. The effect of applying Se on the carbohydrate content was significant only when selenate was applied, decreasing up to the dose 1.0 mg kg⁻¹, remaining constant until the dose 4.0 mg kg⁻¹ and, from there, with increasing dose, there was a small increase in this variable. Selenium was able to affect the nutrient content in the leaves, while sulfur and iron increased with a dose of 2.0 mg kg⁻¹ of Se in the form of selenate and 4.0 mg kg⁻¹ of Se in the form of selenite, respectively. The Mg content was affected at 1.0 mg kg⁻¹ when selenite was applied and at 8.0 mg kg⁻¹ when selenite was applied, reducing the absorption of this element by plants. Its leaves were able to absorb total levels of Se close to 850 mg kg⁻¹ with the source of selenate, in the maximum applied dose (8.0 mg kg⁻¹ of Se). Despite this, this element caused toxicity in the plants, which reflected in the impairment of its growth, leading to the appearance of toxicity symptoms. The species can be classified as an Se accumulator, since it was able to accumulate between 100 and 1000 mg kg⁻¹ of Se in its tissues. However, despite this possible classification, in the doses in which the plants were able to accumulate high concentrations of Se with the selenate source, toxicity occurred in the plants, which shows that the fact that they accumulate a lot of Se in their tissues was not interesting, since that caused physiological and production damage to them.

Keywords: Selenium. Biofortification. Selenate. Selenite. Ora-pro-nobis.

1 INTRODUÇÃO

O ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*) é considerado uma planta alimentícia não convencional (PANC), pertencente à família Cactaceae, da qual apresenta diversos benefícios para a saúde humana (BRASIL, 2002; KINUPP, 2006; KINNUP; BARROS, 2008). A espécie é originária das Américas, onde se relata a presença nativa da planta desde a Flórida (EUA) até a Argentina (MADEIRA et al., 2013) e, no Brasil, é encontrada desde o estado da Bahia até o Rio Grande do Sul (GRONNER; SILVA; MALUF, 1999).

O valor nutricional de *Pereskia aculeata* está associado, principalmente, aos elevados teores de proteínas encontrados nas folhas (26%), que é superior a outros vegetais como feijão, milho ou couve. Também apresenta teores significativos de fibras alimentares e minerais, com destaque para o cálcio, ferro e zinco, vitaminas A e C, além do ácido fólico (SOUZA et al., 2016). Suas folhas podem ser empregadas no tratamento de distúrbios renais (sem sinais de toxicidade), para curar feridas na pele, no abrandamento dos processos inflamatórios e como emoliente, devido ao alto conteúdo mucilaginoso (ADEMILUYI; OGUNSUYI; OBOH, 2016; PINTO; SCIO, 2014). Nos últimos cinco anos, várias atividades biológicas foram atribuídas aos extratos de folhas de *Pereskia aculeata*, incluindo atividade anti-inflamatória em modelos de dermatite aguda e crônica (PINTO; MACHADO et al., 2015), atividade de cicatrização de feridas (PINTO et al., 2016), atividade antinociceptiva (PINTO et al., 2015), atividade antioxidante *in vitro* (PINTO et al., 2012; SOUSA et al., 2014) e atividade antimicrobiana (SOUZA et al., 2016), adicionados à atividade antiproliferativa contra leucemia, neuroblastoma e câncer de mama (PINTO et al., 2012; SOUZA et al., 2016). Dessa forma, o ora-pro-nobis tem potencial de ser introduzido na dieta das populações como uma hortaliça de alto valor nutricional e, a biofortificação dessa espécie com selênio (Se), seria uma alternativa para trazer maior diversidade de nutrientes para os consumidores, além da associação dos benefícios que ambos podem trazer para os seres humanos.

O Se é um elemento considerado essencial para os seres humanos e animais, mas, apesar disso, sua essencialidade em plantas superiores ainda não foi definida (RAYMAN, 2002; SORS; ELLIS; SALT, 2005; TERRY et al., 2000). As plantas são capazes de absorver o selênio nas formas inorgânicas de selenato (SeO_4^{2-}) e selenito (SeO_3^{2-}) e na forma de compostos orgânicos, como a selenocisteína e selenometionina (WHITE et al., 2004, 2007). As formas que predominam em grande parte dos solos são as formas inorgânicas selenito e selenato, sendo que, de acordo com que o Se tem seu estado de oxidação aumentado, sua mobilidade no solo é facilitada. O selenato é relativamente móvel na solução do solo, mas o selenito é fortemente

absorvido pelos óxidos / hidróxidos de ferro e alumínio e, em menor grau, por argilas e matéria orgânica (FORDYCE, 2013; PILBEAM; GREATHEAD; DRIHEM, 2015), estando menos disponível para as plantas. Com isso, o selenato é a forma mais solúvel e móvel no perfil do solo, sendo, portanto, facilmente disponibilizada para a absorção das plantas. Além dos benefícios que o Se pode trazer para as plantas, este quando ingerido de forma correta pelos seres humanos, também pode beneficiá-los através da prevenção de diversas doenças.

A ingestão diária de Se varia geograficamente. Em todo o mundo, estima-se que mais de um bilhão de pessoas ingerem Se abaixo da dose recomendada de $55 \mu\text{g dia}^{-1}$ (BAÑUELOS; LIN; BROADLEY, 2017; MORA et al., 2015), o que explica a ocorrência de deficiência desse nutriente na população humana. Segundo a FAO et al. (2017), mais de 2 bilhões de pessoas no planeta sofrem de deficiências. De acordo com Wu et al. (2015), pelo menos 40 países no mundo têm recursos naturais limitados em Se, sendo que no Brasil a maioria dos solos é deficiente em Se, apresentando níveis de $0,01$ a $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ (CARVALHO et al., 2019; LOPES; ÀVILA; GUILHERME, 2017; MATOS et al., 2017; MIRLEAN; SEUS-ARRACHE; VLASOVA, 2017; REIS et al., 2017; SILVA JUNIOR et al., 2017), o que reflete diretamente na deficiência deste nutriente na população. Com isso, uma das estratégias mais promissoras para reduzir esse problema é a biofortificação (BROADLEY et al., 2006, 2010), processo no qual se aumenta a concentração biodisponível de elementos essenciais e benéficos aos seres humanos e animais em partes comestíveis de plantas cultivadas (WHITE; BROADLEY, 2005). A biofortificação pode ser feita de duas formas, por meio da seleção de materiais geneticamente mais aptos pelo melhoramento genético e/ou por meio da intervenção agrícola, com a utilização de práticas que melhorem a disponibilidade destes elementos às plantas (CAKMAK, 2008).

O sucesso da biofortificação depende de vários fatores, dentre eles o tipo de cultura, levando em consideração a aceitação e o consumo pela população. Nesse sentido, a ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*) apresenta grande potencial a essa prática, pelo fato das PANCs estarem cada vez mais sendo introduzidas na alimentação, além de representar uma fonte de diversos nutrientes essenciais para a saúde humana. Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial de biofortificação da espécie *Pereskia aculeata* com selênio, assim como o efeito desse elemento em diferentes doses na qualidade nutricional e nos parâmetros agronômicos da mesma.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Cultivo de *Pereskia aculeata* Mill. e delineamento experimental

O experimento foi realizado em casa de vegetação, de agosto de 2019 à novembro de 2019, no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, localizada no município de Lavras (21°14'45"S 44°59'59"O; altitude 919 m). Para a produção de mudas de ora-pro-nobis, foi utilizada uma planta matriz, em que se retirou estacas caulinares de 10 cm de comprimento. As estacas foram colocadas para enraizar em vasos (4 estacas por vaso) contendo 0,5 kg de substrato (Plantmax[®]). Após 30 dias, as mudas foram transplantadas para vasos com 4 dm⁻³ de solo, coletado na camada de 0 a 20 cm. Este solo foi classificado como um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa ou Oxisol (SANTOS et al., 2018; SOIL SURVEY STAFF, 1999). Os atributos físico-químicos do solo (tabela 1) foram determinados de acordo com a metodologia proposta por (TEIXEIRA et al., 2017). O teor de Se no solo foi determinado de acordo com USEPA (2007). O teor de Se (tabela 1) nos extratos foi analisado por espectrometria de absorção atômica – forno de grafite (AAAnalyst™ 800 AAS, Perkin Elmer).

Com base na análise química do solo, foi realizada a calagem para aumentar a saturação de base em até 60%, utilizando calcário dolomítico, com 41% de CaO e 10,9% de MgO e, poder de neutralização total relativo de 95%. A incubação do solo durou 30 dias, nos quais foi mantida a umidade próxima a 60% de volume total de poros (VTP). Após a incubação, foi transplantada uma muda em cada vaso e, 7 dias depois, foi realizada a adubação de plantio para a aclimatização das plantas juntamente com a aplicação dos tratamentos, aplicando-se 150 mg de N, 200 mg de P, 75 mg de K e 25 mg de S por dm⁻³ de solo (MALAVOLTA, 1981). As seguintes fontes foram utilizadas: ureia - CH₄N₂O, fosfato de cálcio - Ca₃(PO₄)₂, cloreto de potássio - KCl e sulfato de potássio - K₂SO₄. A adubação de plantio com micronutrientes consistiu na aplicação de 5 mg de Zn; 0,1 mg de Mo; 1,5 mg de Cu; 5 mg de Fe; 0,5 mg de B por dm⁻³ de solo, utilizando as seguintes fontes: sulfato de zinco - ZnSO₄.7H₂O, molibdato de amônio - (NH₄)₆ Mo₇O₂₄.4H₂O, sulfato de ferro - FeSO₄.7H₂O, sulfato de cobre - CuSO₄.5H₂O e ácido bórico - H₃BO₃.

A adubação de cobertura (20 dias após a adubação de plantio) foi realizada com a aplicação das doses de 150 mg de N, 75 mg de K e 25 mg de S por dm⁻³, utilizando-se nitrato de amônio - NH₄NO₃, cloreto de potássio - KCl e sulfato de potássio - K₂SO₄.

A temperatura média da casa de vegetação durante a condução do experimento foi de 25 ± 5°C. A umidade do solo foi mantida na capacidade de campo controlada por pesagem

diária do conjunto solo-planta-vaso, substituindo o volume perdido pela evapotranspiração por água deionizada. O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, utilizando o esquema fatorial 2 x 6, sendo duas fontes de Se aplicadas via solo (selenato de sódio (Na_2SeO_4) e selenito de sódio ($\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), ambas adquiridas pela Sigma-Aldrich, Saint Louis, EUA e 6 doses de Se (0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 mg dm^{-3} de solo). Foram utilizadas 4 repetições, totalizando 48 parcelas experimentais contendo uma planta.

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos do solo estudado.

Atributos (0-20 cm)	Resultado
pH	4,95
K (mg dm^{-3})	49,57
P (mg dm^{-3})	0,985
Ca (cmol dm^{-3})	0,38
Mg (cmol dm^{-3})	0,215
H+Al (cmol dm^{-3})	8,42
SB ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,715
t ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	0,705
T ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)	9,135
V (%)	7,77
M.O. (dag kg^{-1})	3,345
P-Rem (mg L^{-1})	8,5
S (mg dm^{-3})	11,27
Argila (dag kg^{-1})	66
Silte (dag kg^{-1})	13
Areia (dag kg^{-1})	21
Selênio _{total} (mg kg^{-1})	0,269

2.2 Determinação da matéria fresca, seca, número de folhas, índice SPAD e sintomatologia das plantas

Após 60 dias, as plantas foram colhidas e separadas em folha e caule. A contagem do número de folhas e a determinação do índice SPAD (mensuração da clorofila) por vaso foram realizados no dia da coleta das partes das plantas presentes nas parcelas experimentais (60 dias

após o transplântio). O índice SPAD foi determinado com o uso do aparelho SPAD - 502, Konica Minolta, Japão, e a leitura foi feita em triplicata por vaso, sendo realizadas três leituras no ápice, meio e base de folhas saudáveis e completamente expandidas. A determinação da massa fresca de folhas foi feita pela coleta e posterior pesagem em balança analítica. A massa seca de caule e folhas foi determinada por secagem em estufa de circulação de ar forçado em uma temperatura média de 65°C até o peso constante e, posteriormente foi feita a pesagem em balança analítica. A sintomatologia das plantas foi realizada 60 dias após o transplântio por meio de fotos e comparações entre tratamentos. Em seguida, foi realizada a moagem das folhas e caules em moinho de faca antes das análises destrutivas.

2.3 Determinação da análise centesimal, nitrogênio, proteína total e aminoácidos livres totais em folhas

A composição centesimal foi realizada de acordo com o método descrito pela AOAC (1990). O teor de umidade foi determinado utilizando o método de secagem em estufa a 105°C com peso constante e a determinação das cinzas foi realizada por incineração em mufla à 550°C até peso constante. Para a quantificação do nitrogênio total, foi utilizado o método Kjeldahl e, posteriormente, usou o fator 6,25 para a conversão do nitrogênio total em proteína bruta. Para o conteúdo lipídico, foi realizado o método Soxhlet, utilizando o éter de petróleo como solvente para a extração. A porcentagem total de carboidratos foi calculada usando a seguinte equação:

$$\text{Carboidratos totais (\%)} = 100 - \text{Cz} - \text{Lp} - \text{Pt}$$

Onde: Carboidratos totais (%) é a quantidade total de carboidratos (insolúveis e solúveis) nas folhas de ora-pro-nobis em base seca; Cz (%) são as cinzas totais presentes nas folhas de ora-pro-nobis em base seca; Lp (%) são os lipídeos totais presentes nas folhas de ora-pro-nobis em base seca; Pt (%) é a proteína bruta presente nas folhas de ora-pro-nobis em base seca.

Os níveis de proteínas totais e aminoácidos livres totais foram determinados de acordo com as metodologias descritas por Bradford (1976) e Cocking e Yemm (1954), respectivamente.

2.4 Determinação do teor total de Se, acúmulo de Se, eficiência de absorção de Se e teor total de nutrientes, exceto nitrogênio

Para o procedimento de digestão da amostra, foi utilizado a metodologia USEPA (2007), em que foram pesadas 500 mg de amostras de folhas e caules, que foram digeridas com 5 mL de $\text{HNO}_3 \geq 65\%$ em tubos PTFE Teflon® (CEM Corporation, Matthews, NC, USA). O extrato foi colocado em repouso durante a noite à temperatura ambiente e a digestão foi realizada na manhã seguinte. Para isso, os frascos foram hermeticamente selados e levados ao micro-ondas (marca CEM, modelo Mars - 5), com uma temperatura controlada de 0,76 MPa por 15 minutos. Após a digestão, os extratos foram resfriados à temperatura ambiente. Em seguida, o volume final do extrato foi suplementado com 5 mL adicionais de água deionizada. Após a filtração, os extratos foram transferidos para frascos menores (30 mL) e armazenados à 5°C até análise. Uma amostra do material de referência padrão (White Clover - BCR 402, Instituto de Materiais e Medidas de Referência, Geel, Bélgica) para material vegetal foi incluída em cada lote para o controle de qualidade da digestão, juntamente com uma amostra em branco. A recuperação média de Se neste material de referência padrão (White Clover) foi de 90,4% (n = 4). Os extratos obtidos pelo método USEPA (2007) foram analisados por EAA - forno de grafite (Espectrometria de Absorção Atômica com correção de fundo de Zeeman e lâmpada EDL para Se; AAnalyst™ 800 AAS, Perkin Elmer). Utilizou-se o extrato digerido de folhas para quantificar cálcio, magnésio, fósforo, enxofre, potássio, zinco, cobre, ferro e manganês total nas mesmas, sendo que seus teores foram determinados por espectrometria de emissão de plasma acoplada indutivamente (ICP-OES) da marca Spectro, modelo azul (Alemanha), com correção de fundo.

Com o teor de Se nas folhas e caule e, com base no cálculo realizado por Ducsay et al. (2016), calculou-se o acúmulo de Se nas folhas e caule (SeA) (mg vaso^{-1}), que é derivado da multiplicação do teor de Se de folha e caule (mg kg^{-1}) por massa seca de folha e caule (mg vaso^{-1}). Também foi calculado a eficiência de absorção de Se em folhas e caules (SeEA), usando a seguinte equação:

$$SeEA = \frac{\{[Se]_{\text{tratamento}} - [Se]_{\text{controle}}\} * 100}{[Se]_{\text{Dose}}}$$

Onde: SeEA (%) é a eficiência de absorção das doses de Se aplicadas no solo por folhas e caules de ora-pro-nobis; $[Se]_{\text{tratamento}}$ (mg vaso^{-1}) é a absorção de Se por folhas e caules na ora-pro-

nobis que receberam Se por aplicação via solo; $[\text{Se}]_{\text{controle}}$ (mg vaso^{-1}) é a absorção de Se em folhas e caule de ora-pro-nobis do tratamento controle; e $[\text{Se}]_{\text{dose}}$ (mg vaso^{-1}) são as doses de Se aplicadas.

2.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste ESD (Extreme studentized deviate) para identificar outliers, à análise de variância, à regressão com uso do programa estatístico SPEEDSTAT 2.2 (CARVALHO, 2019) e ao teste de Scott-Knott somente na análise do magnésio. Para a confecção dos gráficos foi utilizado o programa Sigma Plot (versão 12.5; Systat Software, Chicago, IL).

3 RESULTADOS

3.1 Sintomatologia

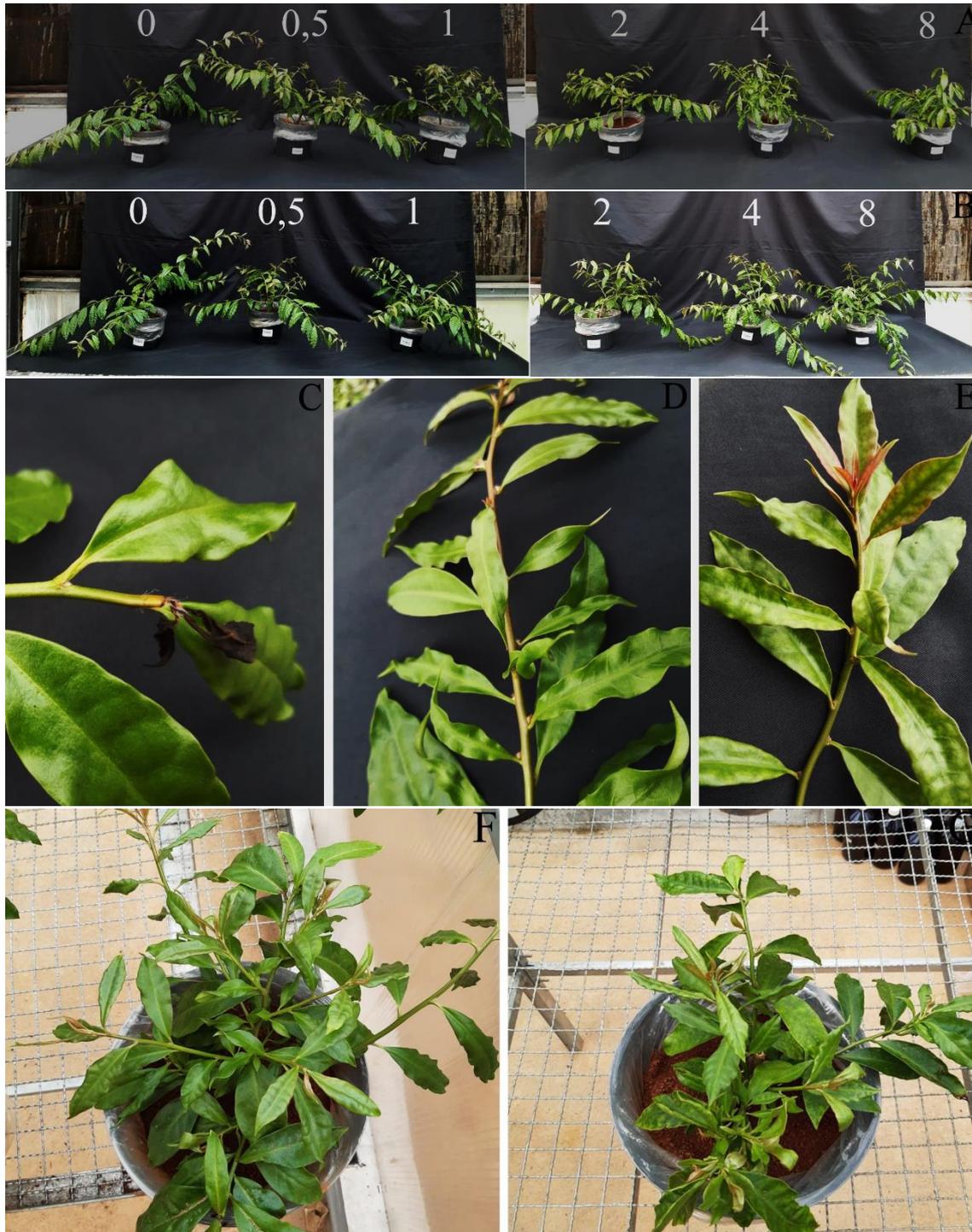


Figura 1. Crescimento das plantas afetado nos tratamentos com selenato, doses 0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 mg kg⁻¹ (A); tratamentos com selenito, doses 0; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0 mg kg⁻¹ (B); sintoma de necrose na gema apical observado nas doses 4,0 e 8,0 mg kg⁻¹ do tratamento com selenato (C); folhas lanceoladas, retorcidas e murchas nas doses 4,0 e 8,0 mg kg⁻¹ nos tratamentos com selenato (D); clorese internodal nas doses 4,0 e 8,0 mg kg⁻¹ nos tratamentos com selenato (E); plantas com tamanho reduzido no tratamento com a dose 4 mg kg⁻¹ de selenato (F) e no tratamento com a dose 8 mg kg⁻¹ de selenato (G).

Foi observado que de acordo com o aumento das doses houve uma diminuição do tamanho das plantas nos tratamentos com selenato (Figura 1A), ficando mais evidente nas doses 4,0 e 8,0 mg de Se kg⁻¹ de solo (Figura 1F e 1G, respectivamente), o que não foi observado nos tratamentos com selenito (Figura 1B). Nas doses 4,0 e 8,0 mg kg⁻¹ utilizando selenato, foram observados sintomas de necrose na gema apical (Figura 1C). As folhas apresentaram formato lanceolado, ficando retorcidas e com aspecto murcho nos tratamentos com selenato, sintomas dos quais aumentaram de acordo com o aumento das doses de Se, ficando mais evidentes nas doses 4,0 e 8,0 mg kg⁻¹ (Figura 1D). Também foram observados sintomas de clorose internerval nas folhas dos tratamentos com selenato nas doses 4,0 e 8,0 mg de Se kg⁻¹ de solo (Figura 1E).

3.2 Matéria fresca e seca de folhas, matéria seca de caules, número de folhas e índice SPAD

De acordo com os resultados obtidos, as variáveis matéria seca de folhas (Figura 2B), número de folhas (Figura 2D) e índice SPAD (mensuração da clorofila) (Figura 2E) não foram afetadas significativamente pelas fontes e doses de Se. Já a produção de matéria fresca de folhas (Figura 2A) e matéria seca de caules (Figura 2C) foram influenciados pela interação entre as fontes de Se versus doses de Se, sendo essa interação significativa. A produção de matéria fresca de folhas foi afetada significativamente somente nos tratamentos com selenato (Figura 2A). Com o aumento da dose de Se, houve uma redução linear da produção de matéria fresca de folhas, que pode ser visualizada na Figura 1A, 1F e 1G. Com relação à produção de matéria seca de caule, esta foi afetada significativamente somente nos tratamentos com selenato, ficando constante até a dose 2,0 mg de Se kg⁻¹ de solo. A partir daí, com o aumento da dose, ocorreu uma redução quadrática na produção de matéria seca de caule, que pode ser observado na Figura 2C.

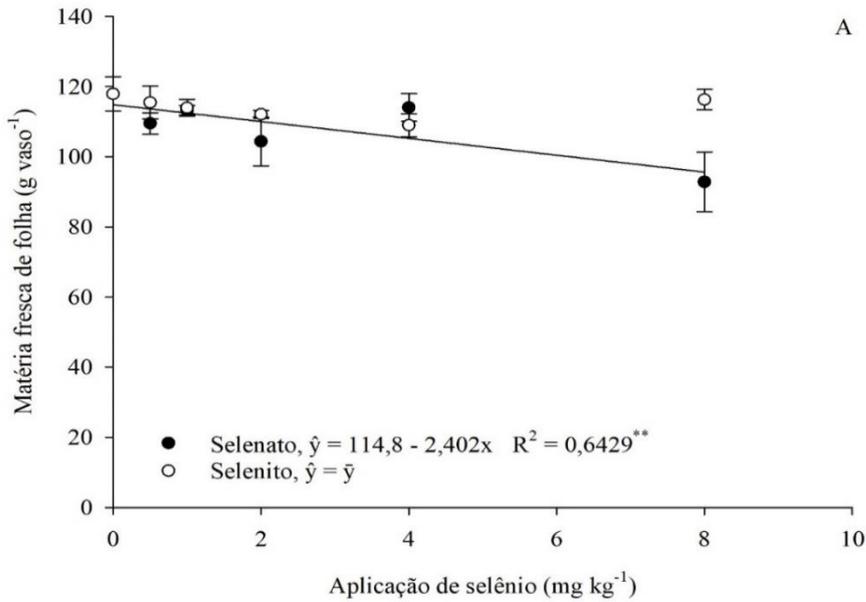


Figura 2A. Matéria fresca de folhas de ora-pro-nobis (g vaso⁻¹) em função da aplicação de doses e fontes de Se. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

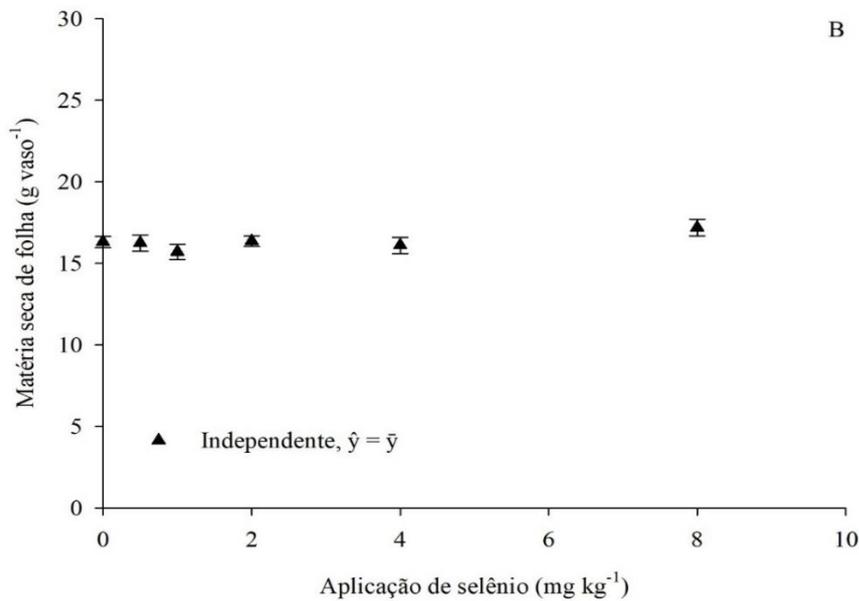


Figura 2B. Matéria seca de folhas de ora-pro-nobis (g vaso⁻¹) em função da aplicação de doses e fontes de Se. ▲ Independente = Independentemente da fonte de Se.

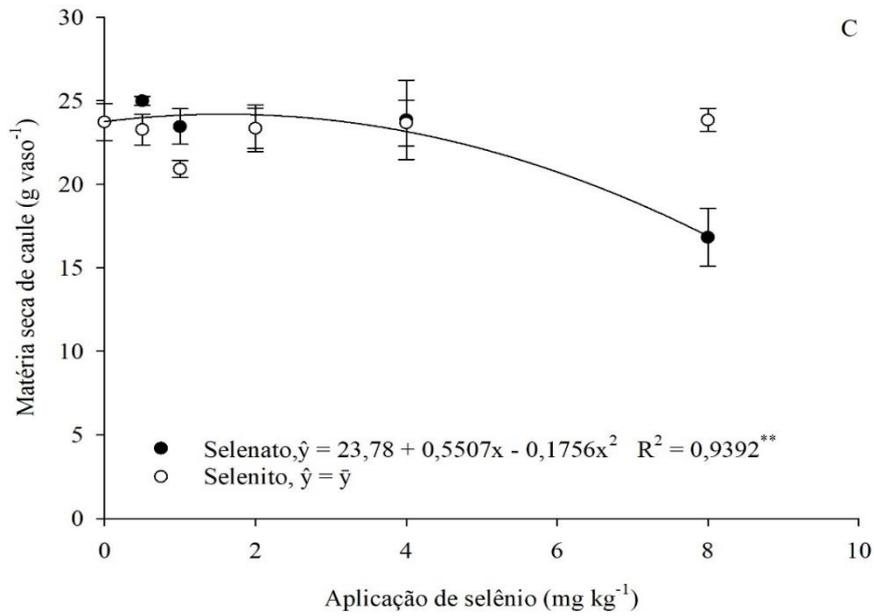


Figura 2C. Matéria seca de caules de ora-pro-nobis (g vaso^{-1}) em função da aplicação de doses e fontes de Se. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

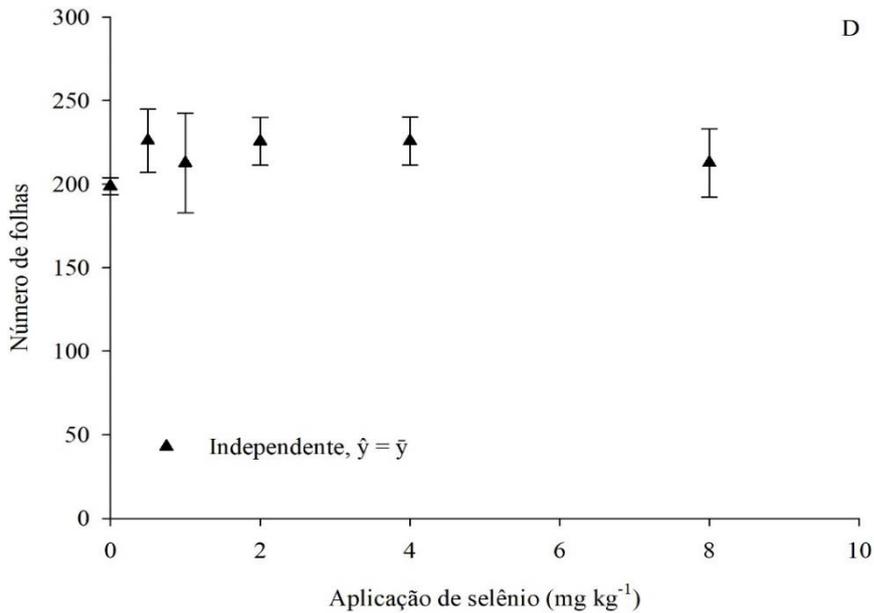


Figura 2D. Número de folhas de ora-pro-nobis em função da aplicação de doses e fontes de Se. ▲ Independente = Independentemente da fonte de Se.

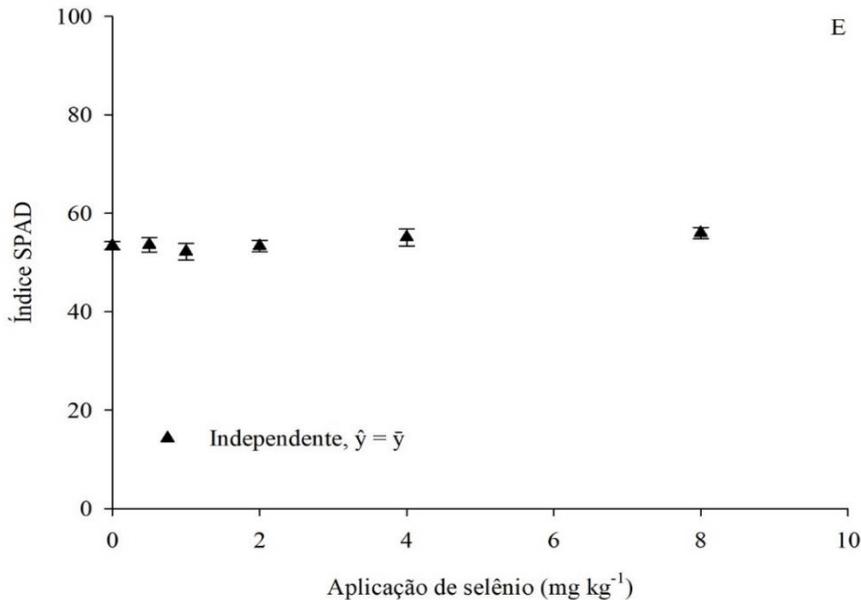


Figura 2E. Índice SPAD (mensuração da clorofila) de folhas de ora-pro-nobis em função da aplicação de doses e fontes de Se. ▲ Independente = Independentemente da fonte de Se.

3.3 Análise centesimal

Não houve diferença significativa entre os fatores fonte e dose de Se para a variável resposta proteína bruta (Figura 3A). Para os lipídeos, somente o selenato afetou significativamente essa variável, que a partir da dose 1,5 mg kg⁻¹ de Se, diminuiu o conteúdo lipídico nas folhas à medida em que houve o aumento das doses (Figura 3B). Na variável cinzas, independente das fontes, até a dose 4,0 mg kg⁻¹ de Se, ocorreu o aumento desta e, a partir dessa dose, o conteúdo de cinzas se manteve constante (Figura 3C). O efeito da aplicação de Se no conteúdo de carboidratos foi significativo apenas quando se aplicou o selenato (Figura 3D). Houve diminuição do conteúdo de carboidratos até a dose 1,0 mg kg⁻¹, mantendo-se constante até a dose 4,0 mg kg⁻¹. A partir disso, com o aumento da dose, observou-se um pequeno aumento dessa variável.

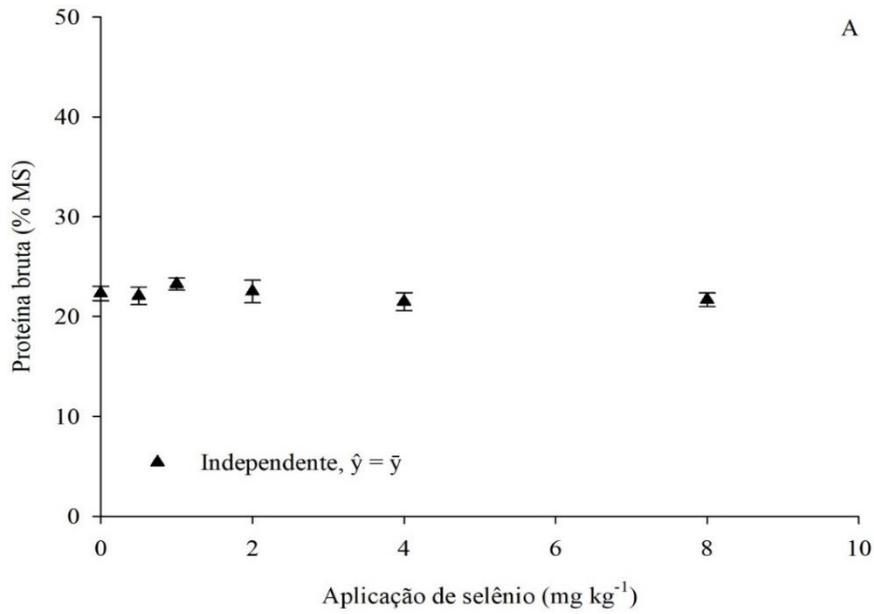


Figura 3A. Proteína bruta (%) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função da aplicação de doses e fontes de Se. ▲ Independente = Independentemente da fonte de Se.

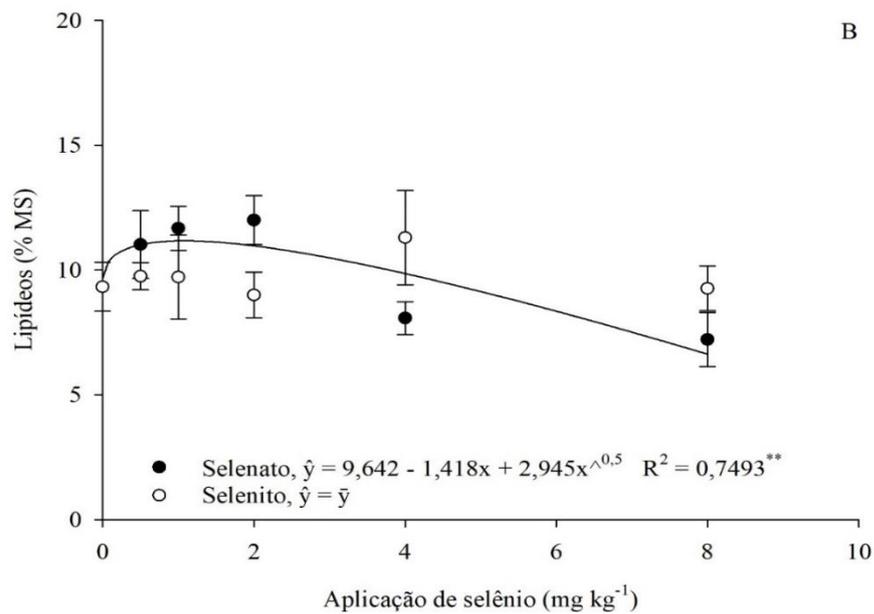


Figura 3B. Lipídeos (%) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função da aplicação de doses e fontes de Se. **Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

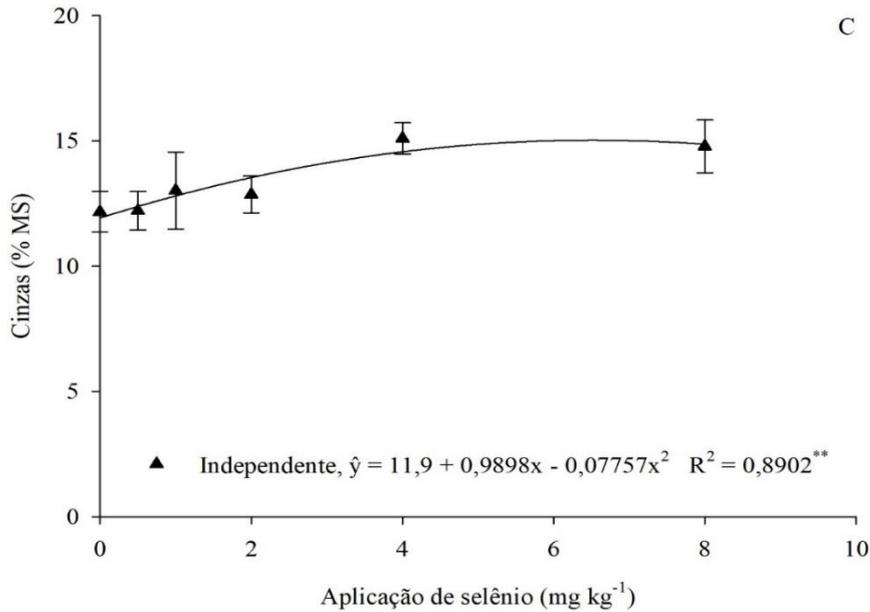


Figura 3C. Cinzas (%) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função da aplicação de doses e fontes de Se. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

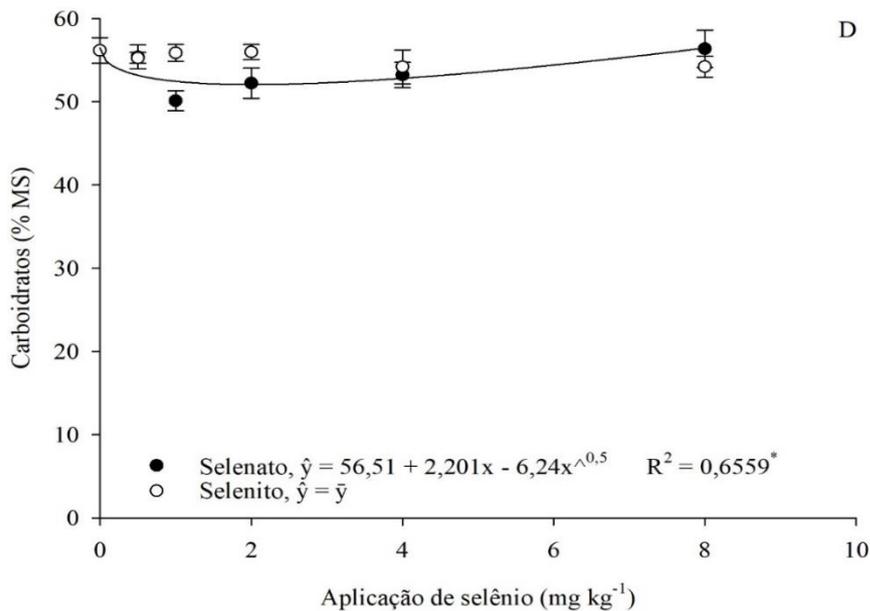


Figura 3D. Carboidratos (%) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função da aplicação de doses e fontes de Se. *****Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

3.4 Proteína total e aminoácidos livres totais

Não houve diferença significativa entre os fatores fonte e dose de Se para as variáveis proteína total (Figura 4A) e aminoácidos livres totais (Figura 4B).

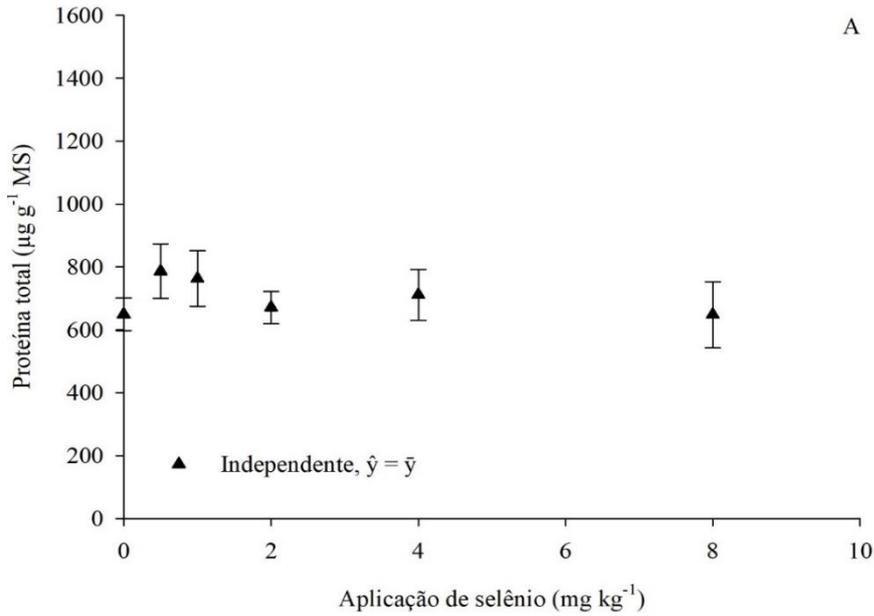


Figura 4A. Proteína total ($\mu\text{g g}^{-1}$) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função da aplicação de doses e fontes de Se. \blacktriangle Independente = Independentemente da fonte de Se.

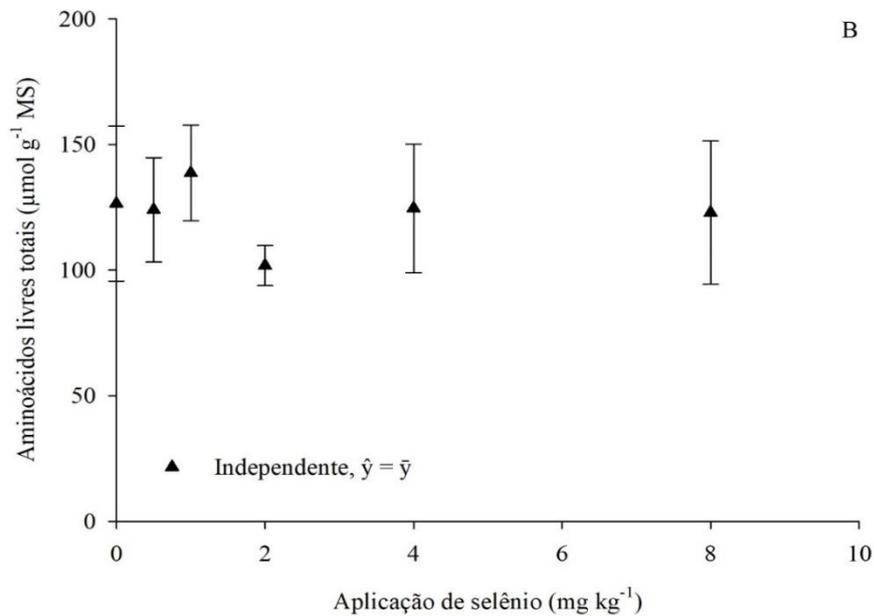


Figura 4B. Aminoácidos livres totais ($\mu\text{mol g}^{-1}$) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função da aplicação de doses e fontes de Se. \blacktriangle Independente = Independentemente da fonte de Se.

3.5 Nutrientes

Somente o enxofre (S), ferro (Fe) e magnésio (Mg) foram influenciados significativamente pelas doses de Se aplicadas (Figuras 5B, 5G, 5I). Para os demais nutrientes,

não houve diferença significativa entre os fatores fonte e dose de Se. Para o S, somente o selenato foi capaz de influenciar significativamente o teor deste elemento nas plantas (Figura 5B), sendo que houve o aumento do conteúdo de S até a dose 2,0 mg kg⁻¹ e, a partir disso, com o aumento da dose de Se, este se manteve constante. Em relação ao Fe (Figura 5G), somente o selenito foi capaz de influenciar significativamente o conteúdo deste elemento nas plantas. Até a dose 4,0 mg kg⁻¹ ocorreu o aumento do teor de Fe nas plantas nos tratamentos com selenito. A partir disso, com o aumento da dose de Se, houve a diminuição do conteúdo de Fe nas plantas. O conteúdo de Mg com a aplicação de selenato foi afetado significativamente somente na dose 8,0 mg kg⁻¹, sendo a interação entre dose e fonte de Se significativa, ocorrendo a diminuição da absorção deste elemento pelas plantas. Já com a aplicação de selenito, houve interação significativa entre os fatores dose e fonte de Se somente na dose 1,0 mg kg⁻¹, ocorrendo uma pequena diminuição do conteúdo de Mg absorvido pelas plantas, quando comparado às demais fontes e ao controle.

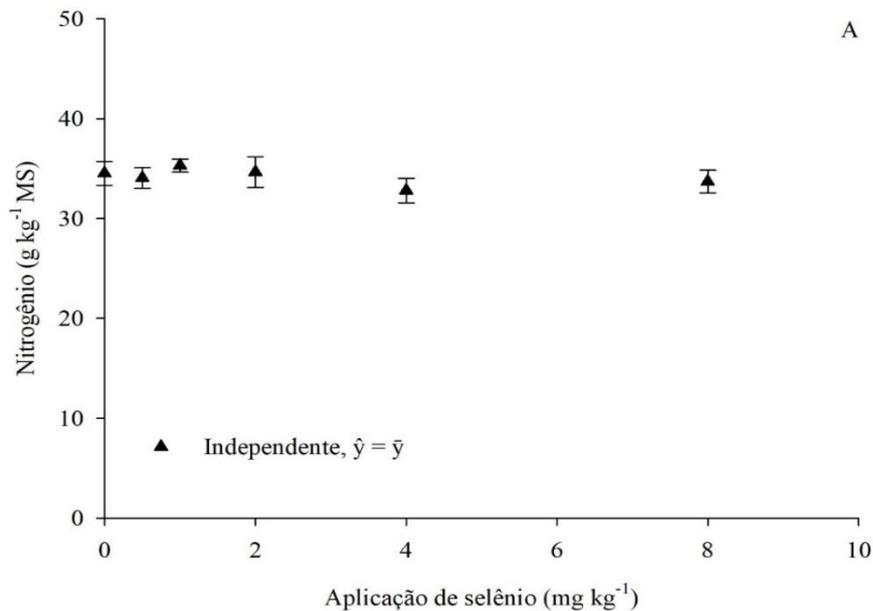


Figura 5A. Efeito da aplicação de Se no conteúdo de nitrogênio (g kg⁻¹) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função de doses e fontes de Se. ▲ Independente = Independentemente da fonte de Se.

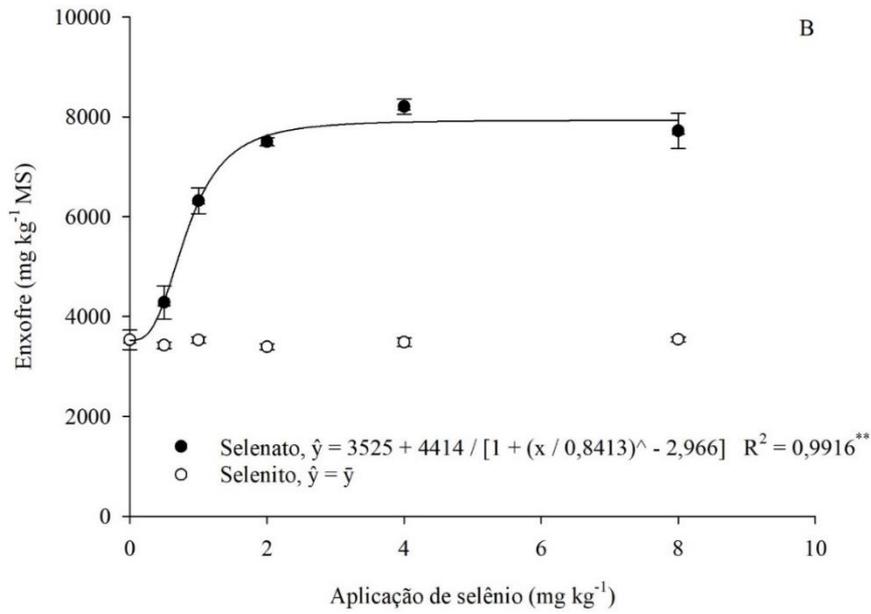


Figura 5B. Efeito da aplicação de Se no conteúdo de enxofre (mg kg^{-1}) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função de doses e fontes de Se. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

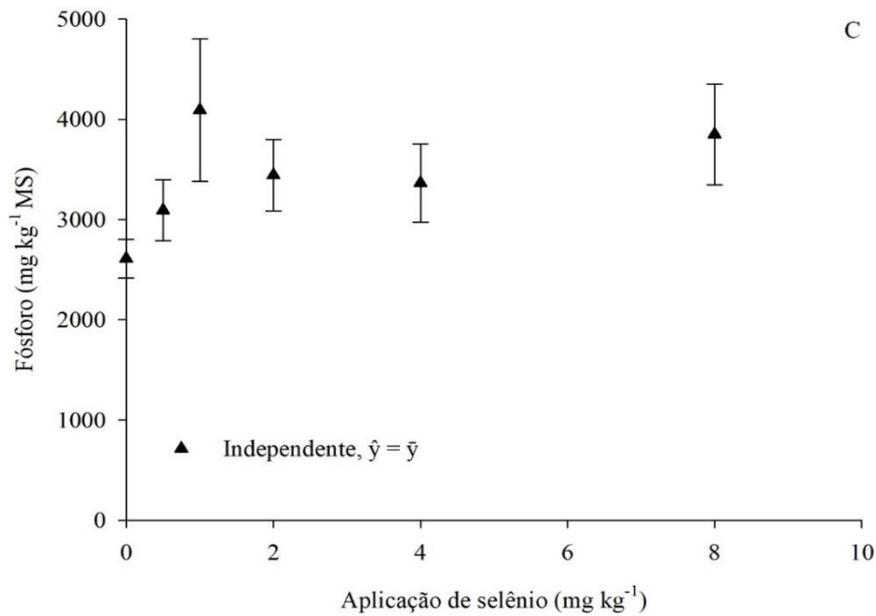


Figura 5C. Efeito da aplicação de Se no conteúdo de fósforo (mg kg^{-1}) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função de doses e fontes de Se. **▲** Independente = Independentemente da fonte de Se.

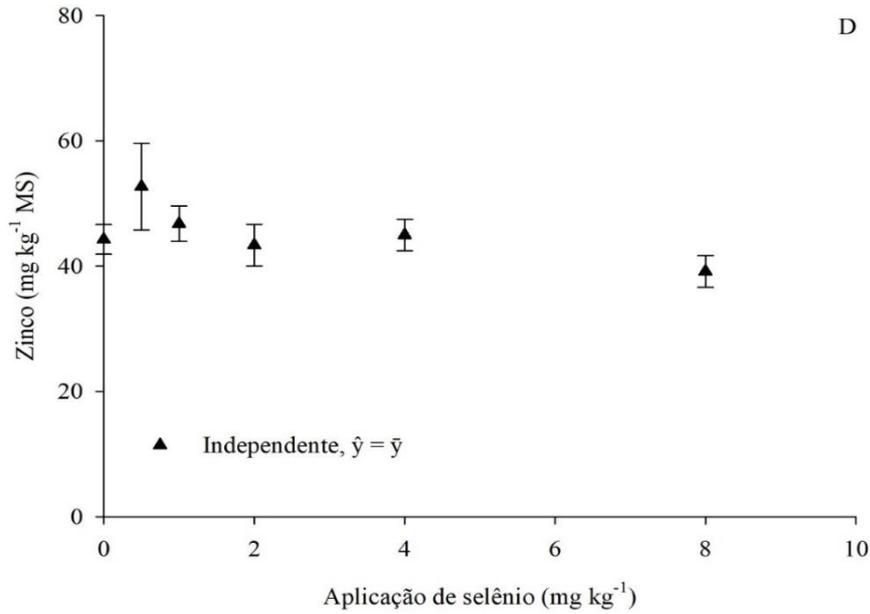


Figura 5D. Efeito da aplicação de Se no conteúdo de zinco (mg kg^{-1}) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função de doses e fontes de Se. ▲ Independente = Independentemente da fonte de Se.

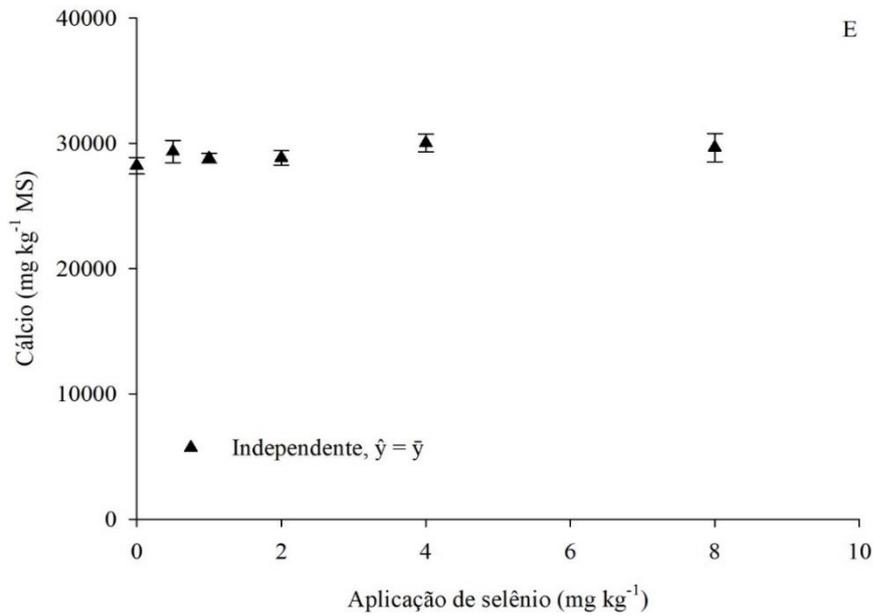


Figura 5E. Efeito da aplicação de Se no conteúdo de cálcio (mg kg^{-1}) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função de doses e fontes de Se. ▲ Independente = Independentemente da fonte de Se.

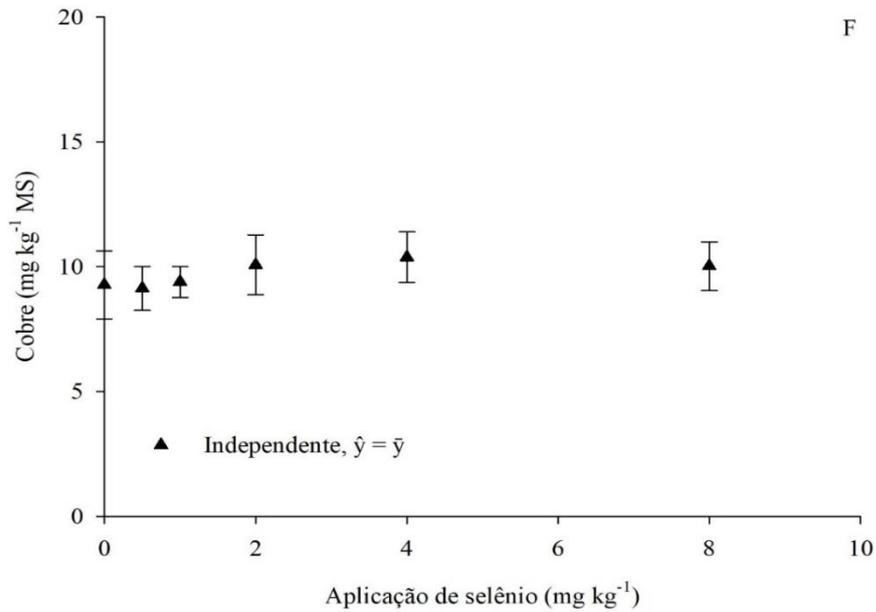


Figura 5F. Efeito da aplicação de Se no conteúdo de cobre (mg kg⁻¹) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função de doses e fontes de Se. ▲ Independente = Independentemente da fonte de Se.

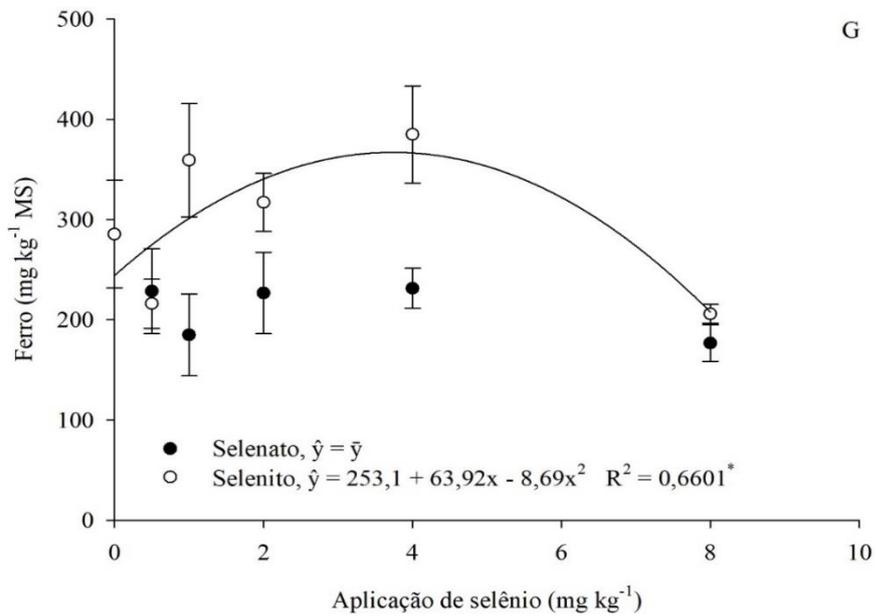


Figura 5G. Efeito da aplicação de Se no conteúdo de ferro (mg kg⁻¹) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função de doses e fontes de Se. *Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

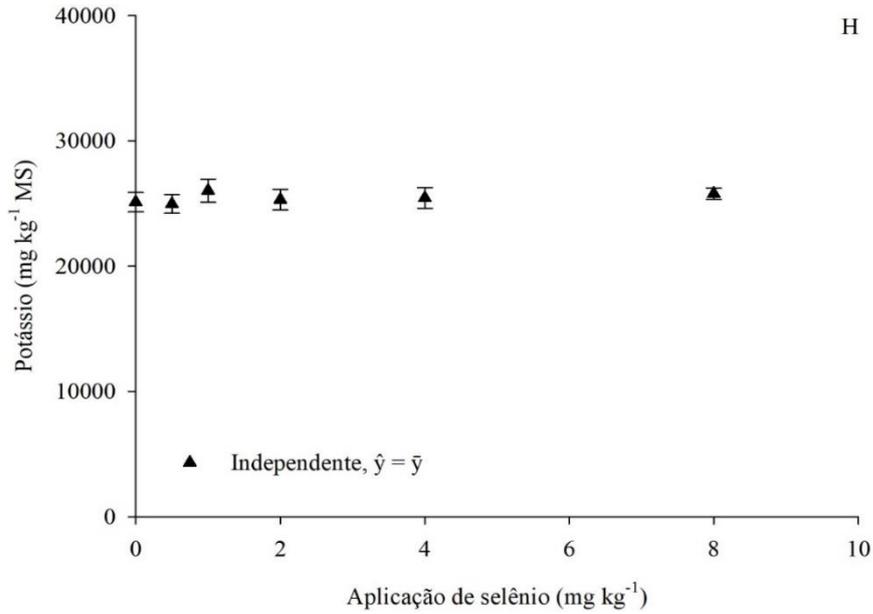


Figura 5H. Efeito da aplicação de Se no conteúdo de potássio (mg kg^{-1}) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função de doses e fontes de Se. \blacktriangle Independente = Independentemente da fonte de Se.

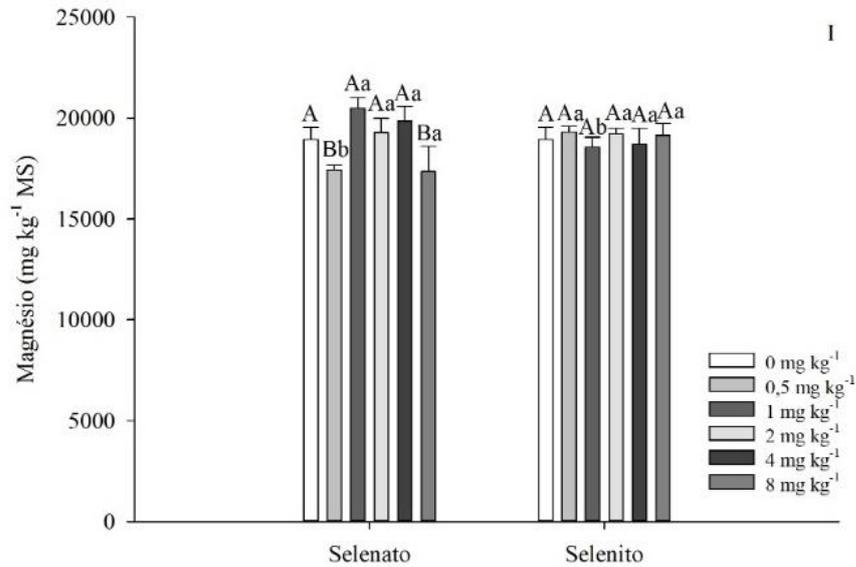


Figura 5I. Efeito da aplicação de Se no conteúdo de magnésio (mg kg^{-1}) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função de doses e fontes de Se. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade.

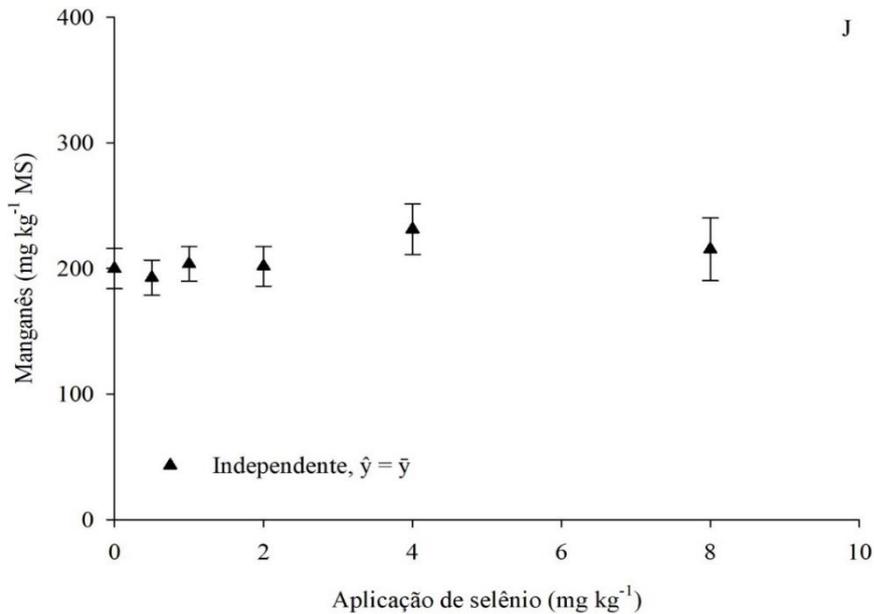


Figura 5J. Efeito da aplicação de Se no conteúdo de manganês (mg kg^{-1}) na matéria seca de folhas de ora-pro-nobis em função de doses e fontes de Se. ▲ Independente = Independentemente da fonte de Se.

3.6 Teor total de selênio, acúmulo de selênio e eficiência de absorção de selênio

A recuperação média de Se no material de referência padrão (White Clover) foi de 90,4%, indicando confiabilidade analítica. O limite de detecção calculado (μg de Se kg^{-1} do extrato) foi de 3,60; o limite de quantificação calculado foi de 12,01 $\mu\text{g kg}^{-1}$, enquanto o limite de detecção dos métodos analíticos utilizados para folhas e caules (μg de Se kg^{-1} amostra em massa seca) foi de 360,33.

O teor total de Se nas folhas e caules aumentou com o aumento das doses. O tratamento com 8 mg kg^{-1} de Se proporcionou os maiores teores totais de Se nas folhas ($\approx 850 \text{ mg kg}^{-1}$ de Se / selenato e $\approx 1,8 \text{ mg kg}^{-1}$ de Se / selenito) (Figura 6A e 6B) e nos caules ($\approx 13 \text{ mg kg}^{-1}$ de Se / selenato e $1,1 \text{ mg kg}^{-1}$ de Se / selenito) (Figura 6C e 6D). Pode-se observar que os teores totais de Se nas folhas foram bastante discrepantes com relação às fontes de Se, sendo que o selenato foi absorvido aproximadamente 470 vezes mais que o selenito, o qual apresentou menor teor em ambos os órgãos da planta analisados. Além disso, os teores de Se foram expressivamente maiores nas folhas do que nos caules.

O acúmulo de Se nas folhas e caule apresentou o mesmo comportamento, ocorrendo o aumento deste à medida em que se aumentou as doses de Se. Na maior dose aplicada (8,0 mg kg^{-1}) foi observado os maiores acúmulos de Se tanto nas folhas, quanto nos caules, em ambas as fontes de Se aplicadas, sendo que nas folhas o acúmulo foi de 15 $\text{mg de Se vaso}^{-1}$ e $\approx 0,031 \text{ mg de Se vaso}^{-1}$ com a aplicação de selenato e selenito, respectivamente (Figura 7A e 7B) e, no

caule, foi de $\approx 0,20$ mg de Se vaso^{-1} e $\approx 0,019$ mg de Se vaso^{-1} com a aplicação de selenato e selenito, respectivamente (Figura 7C e 7D).

A máxima eficiência de translocação de Se pelas folhas tratadas com selenato foi observada na dose $4,0$ mg kg^{-1} de Se, sendo 45% de eficiência. Até essa dose houve o aumento dessa variável que, à partir disso, ficou constante, tendendo a uma redução caso fossem aplicadas doses acima de $8,0$ mg kg^{-1} de Se (Figura 8A). Entretanto, nos tratamentos com selenito, não houve diferença significativa entre às doses de Se aplicadas (Figura 8B). Com relação aos caules, a dose $2,0$ mg kg^{-1} de Se nos tratamentos com selenato, promoveu a maior eficiência de absorção de Se ($\approx 1,4\%$). A partir disso, à medida em que as doses de Se foram aumentando, a eficiência de absorção de Se decresceu, sendo observado $0,5\%$ de eficiência na maior dose aplicada ($8,0$ mg kg^{-1}) (Figura 8C). Nos tratamentos com selenito, o pico máximo de eficiência de absorção de Se foi na dose $3,0$ mg kg^{-1} de Se ($0,07\%$), mantendo-se constante até a dose $4,0$ mg kg^{-1} de Se e, decaindo a partir dessa dose. A maior dose aplicada ($8,0$ mg kg^{-1} de Se) nos tratamentos com selenito obteve uma eficiência de $0,05\%$ (Figura 8D). Com isso, na maior dose de Se aplicada ($8,0$ mg kg^{-1}) utilizando a fonte selenato, as folhas foram 100 vezes mais eficientes em translocar Se em seus tecidos em comparação aos caules.

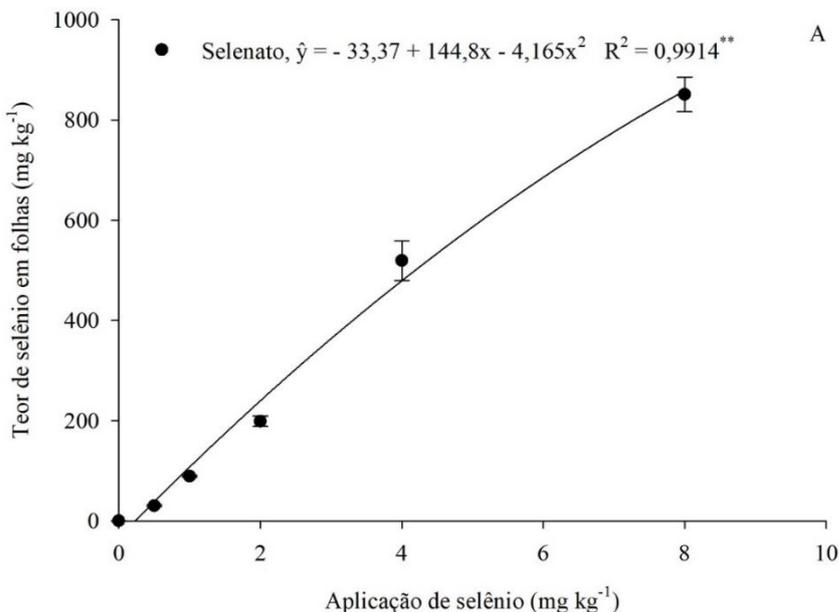


Figura 6A. Teor de Se (mg kg^{-1}) em folhas de ora-pro-nobis em função do selenato, de acordo com as doses de Se aplicadas. **Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

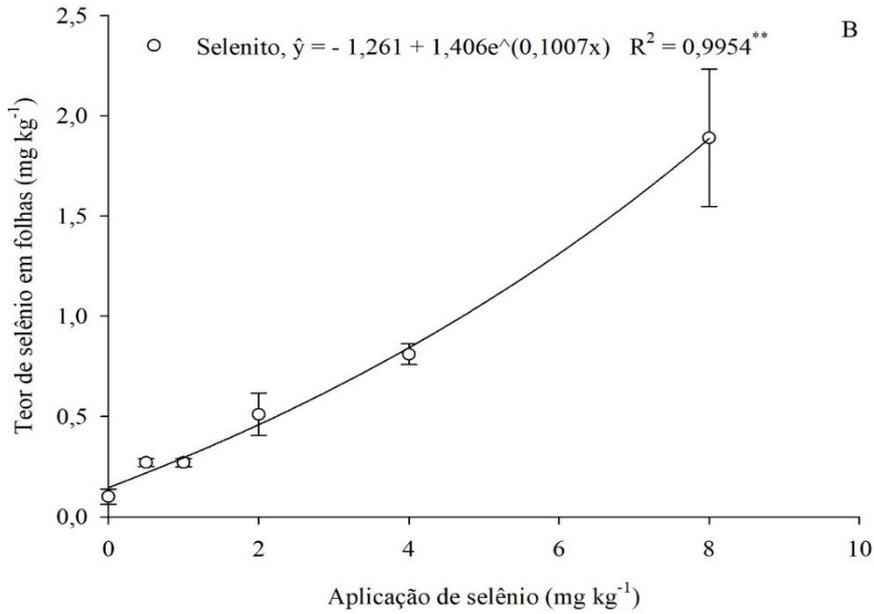


Figura 6B. Teor de Se (mg kg⁻¹) em folhas de ora-pro-nobis em função do selenito, de acordo com as doses de Se aplicadas. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

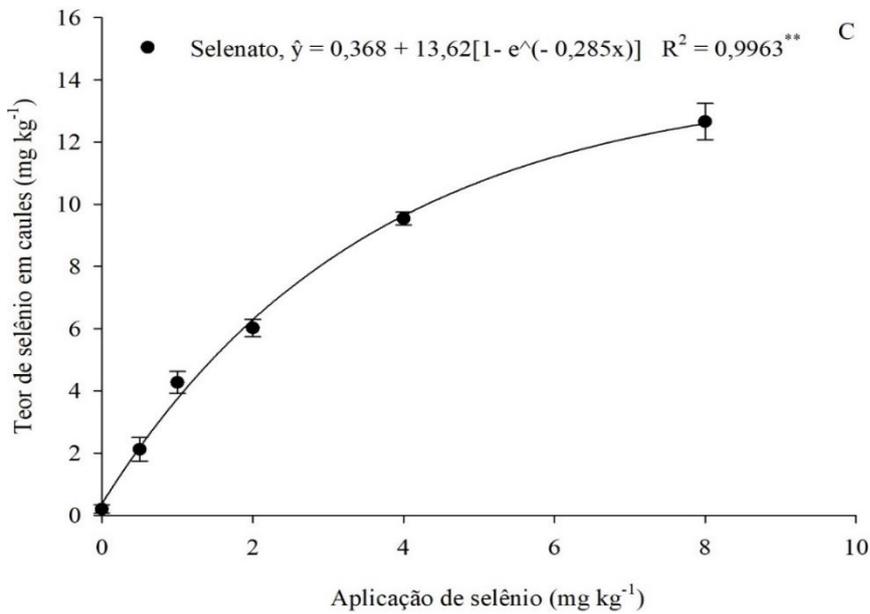


Figura 6C. Teor de Se (mg kg⁻¹) em caules de ora-pro-nobis em função do selenato, de acordo com as doses de Se aplicadas. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

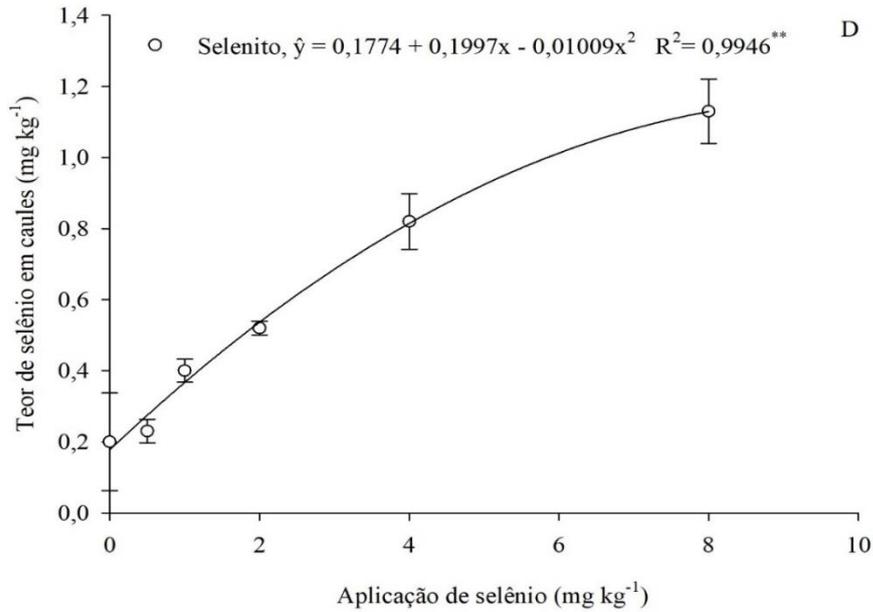


Figura 6D. Teor de Se (mg kg⁻¹) em caules de ora-pro-nobis em função do selenito, de acordo com as doses de Se aplicadas. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

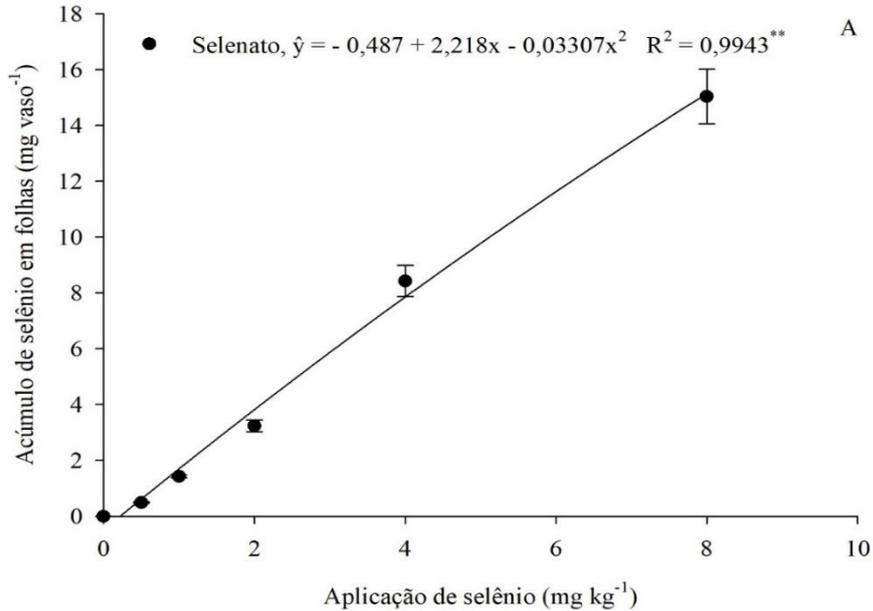


Figura 7A. Acúmulo de Se (mg vaso⁻¹) em folhas de ora-pro-nobis em função do selenato, de acordo com as doses de Se aplicadas. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

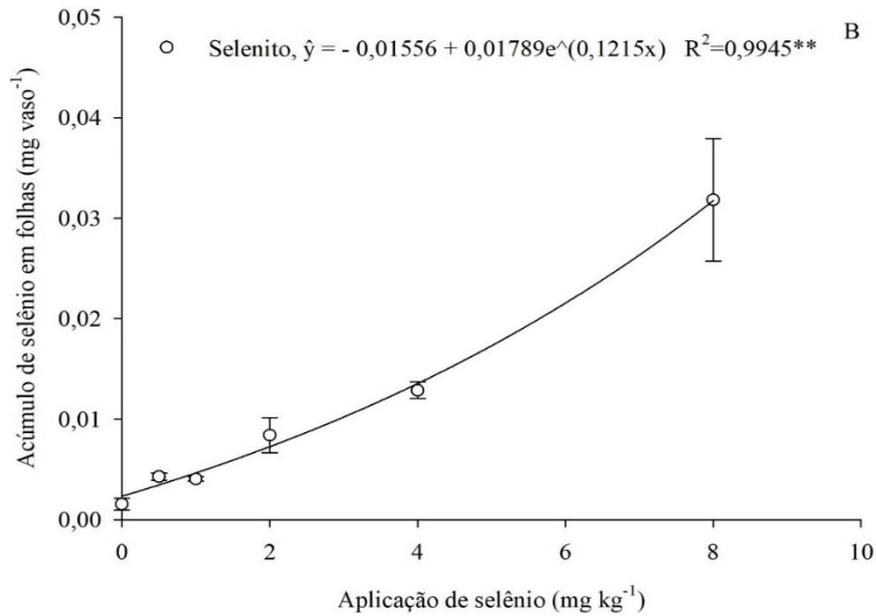


Figura 7B. Acúmulo de Se (mg vaso⁻¹) em folhas de ora-pro-nobis em função do selenito, de acordo com as doses de Se aplicadas. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

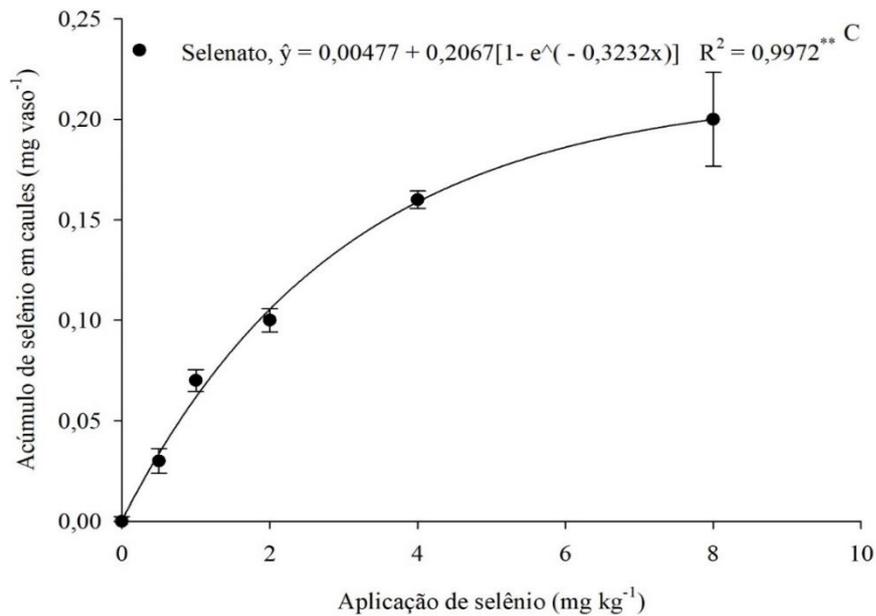


Figura 7C. Acúmulo de Se (mg vaso⁻¹) em caules de ora-pro-nobis em função do selenato, de acordo com as doses de Se aplicadas. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

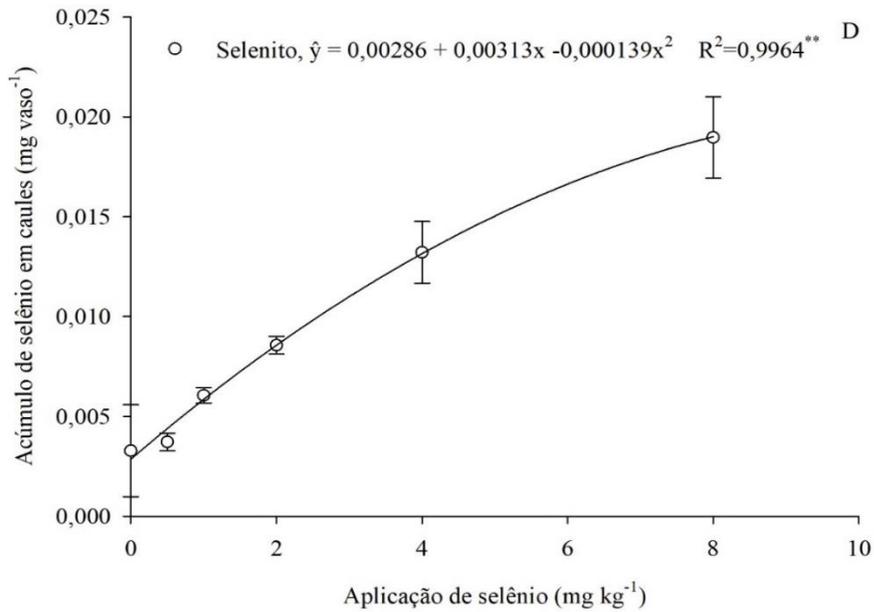


Figura 7D. Acúmulo de Se (mg vaso⁻¹) em caules de ora-pro-nobis em função do selenito, de acordo com as doses de Se aplicadas. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

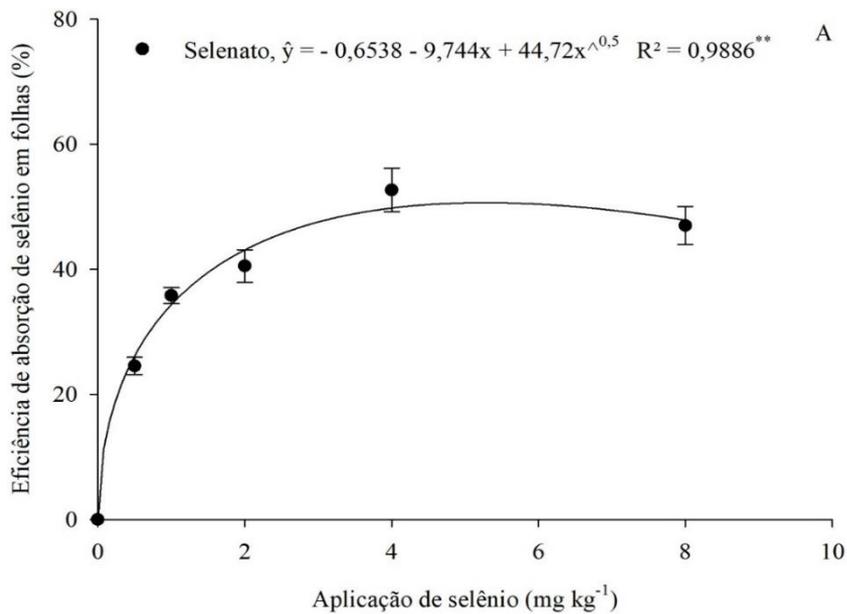


Figura 8A. Eficiência de absorção de Se (%) em folhas de ora-pro-nobis em função do selenato, de acordo com as doses de Se. ******Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

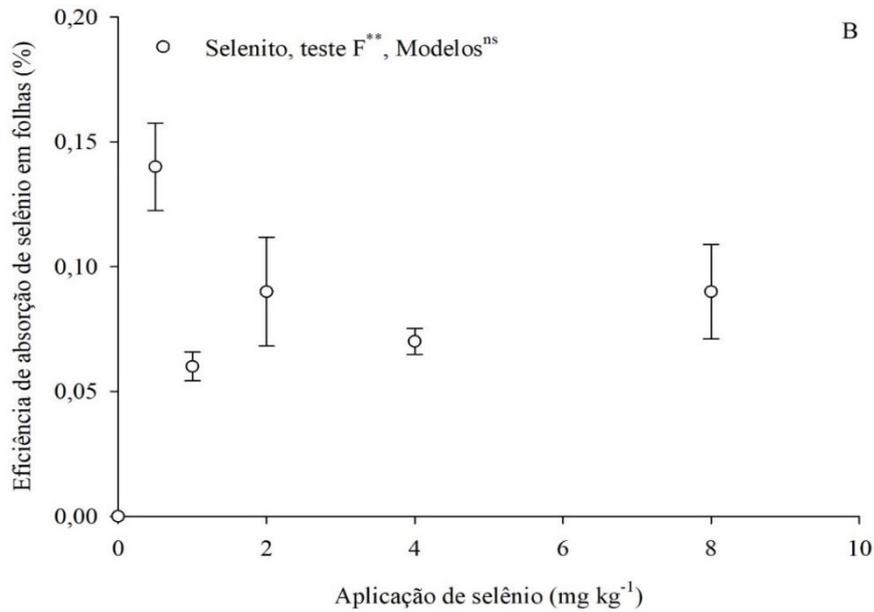


Figura 8B. Eficiência de absorção de Se (%) em folhas de ora-pro-nobis em função do selenito, de acordo com as doses de Se. ^{ns}Não significativo.

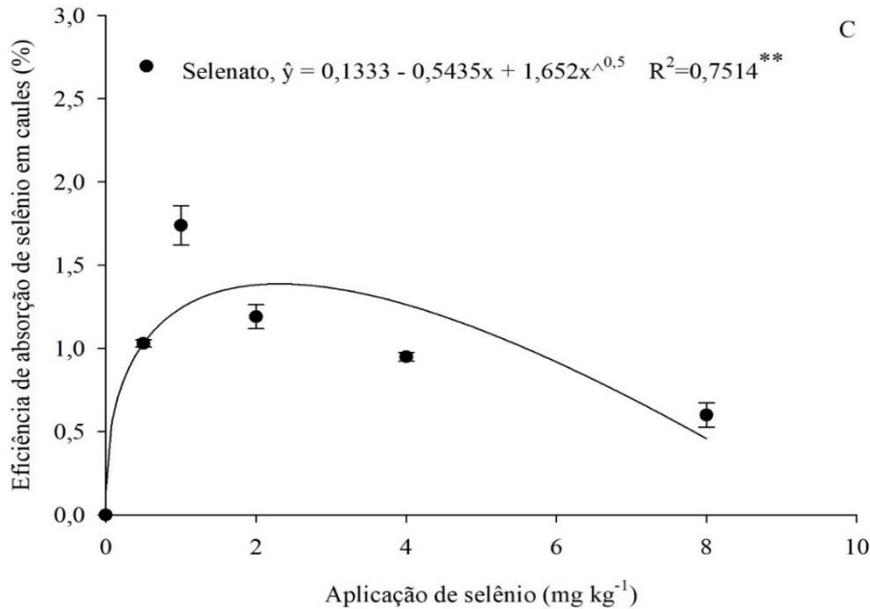


Figura 8C. Eficiência de absorção de Se (%) em caules de ora-pro-nobis em função do selenato, de acordo com as doses de Se. **Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

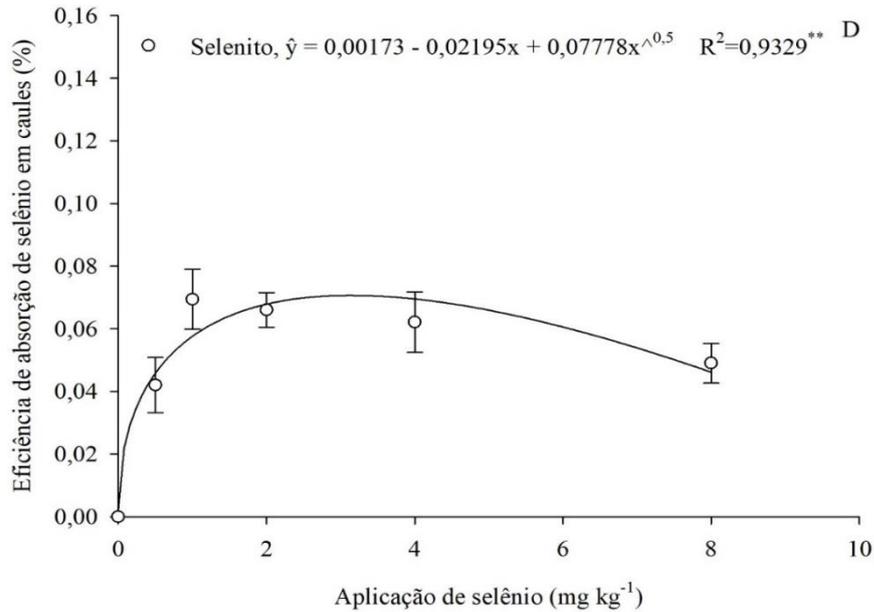


Figura 8D. Eficiência de absorção de Se (%) em caules de ora-pro-nobis em função do selenito, de acordo com as doses de Se. **Significativo pelo teste F, a 1% de probabilidade.

4 DISCUSSÃO

4.1 Sintomatologia

Os resultados encontrados mostram que as plantas da espécie *Pereskia aculeata* podem ter absorvido menos selenito quando comparado ao selenato, o que fez com que o efeito tóxico fosse menor, já que podem ter sido menos expostas ao selenito no solo, uma vez que este estava menos disponível para a absorção das plantas. Já o selenato, pode ter sido mais absorvido por elas devido à sua maior disponibilidade no solo e, conseqüentemente, causado maior efeito tóxico. O selenato é mais solúvel e móvel no perfil do solo, sendo, portanto, facilmente disponibilizado para a absorção das plantas. Entretanto, devido a esta alta solubilidade, apresenta maior potencial tóxico. Segundo Van hoewyk (2013) e Eiche et al. (2015), altos níveis de Se tendem a induzir diferentes efeitos tóxicos nas plantas, incluindo menor crescimento e eficiência fotossintética, clorose e, finalmente, a morte das plantas, o que poderia explicar o fato do selenato ter causado toxicidade nas plantas. Sintomas semelhantes foram observados por Mostofa et al. (2017) em plantas de arroz, onde o Se induziu sintomas visíveis de toxicidade, incluindo comprometimento do crescimento das plantas, folhas menos túrgidas, cloróticas, enroladas e queimadas. Também foram observados sintomas de toxicidade de selênio em mostarda branca (*Sinapis alba* L.), canola (*Brassica napus* L.) e trigo (MOLNÁROVÁ; FARGAŠOVÁ, 2009).

A toxicidade por Se nas plantas pode ser atribuída ao estresse oxidativo ou à má incorporação de selenoaminoácidos em proteínas. Acredita-se que as formas inorgânicas de Se (selenato e selenito) causam mais estresse oxidativo que as formas orgânicas de Se (selenocisteína e selenometionina) (VAN HOEWYK, 2013). O selênio pode substituir o enxofre nos aminoácidos cisteína (Cys) e metionina (Met) para produzir selenocisteína (SeCys) e selenometionina (SeMet). As SeCys podem ser incorporadas em proteínas de maneira não específica, o que pode levar a interrupção da função das proteínas e ao seu mau funcionamento e, conseqüentemente, à toxicidade de Se (NEUHIERL; BOCK, 1996; STADTMAN, 1990; VAN HUYSEN et al., 2003). O acúmulo de selenoproteínas nas plantas pode resultar na geração de espécies reativas de oxigênio (EROs) (VAN HOEWYK, 2013), as quais podem sofrer desequilíbrios no processo de formação e eliminação quando ocorre o estresse oxidativo. Essas espécies podem controlar o crescimento das plantas através da interação com hormônios como ácido salicílico, ácido jasmônico, giberelina, ácido abscísico, etileno e auxina (MHAMDI; VAN BREUSEGEM, 2018), podendo afetar o crescimento destas, como observado nas Figuras 1A, 1F e 1G. Mostofa et al. (2017) relata que a clorose induzida por Se também poderia ser consequência do estresse oxidativo mediado por esse elemento, como foi evidenciado pelo acúmulo excessivo de EROs no trabalho citado.

4.2 Matéria fresca e seca de folhas, matéria seca de caules, número de folhas e índice SPAD

O desempenho do crescimento das plantas está amplamente correlacionado com o status de água nessas. Estudos mostraram que o desequilíbrio água-plantas representa um indicador precoce de distúrbios fisiológicos quando as plantas são expostas a estresses abióticos, incluindo toxicidade (MOSTOFA et al., 2015a, 2015b; THOUNAOJAM et al., 2012). Como foi mostrado anteriormente, o selenato foi capaz de causar toxicidade nas plantas de *ora-pro-nobis*, o que pode ter induzido à formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) na parte aérea da planta, levando à redução do acúmulo de biomassa (CHEN et al., 2014; DIMKOVIKJ; VAN HOEWYK, 2014). Dessa forma, o fato das plantas terem ficado com aspecto murcho nos tratamentos com selenato, nas doses 4,0 e 8,0 mg kg⁻¹, como pode ser observado na Figura 1D e, como consequência, ter ocorrido a redução da produção de matéria fresca de folhas, além da redução da produção de matéria seca de caule nos tratamentos com selenato, à medida em que houve o aumento das doses, possivelmente ocorreu devido a toxicidade causada pelo selenato. O mesmo comportamento foi observado na cultura do arroz (MOSTOFA et al., 2017), mostarda

branca (*Sinapis alba* L.), canola (*Brassica napus* L.) trigo e cevada (MOLNÁROVÁ; FARGAŠOVÁ, 2009) e feijão (AGGARWAL et al., 2011).

4.3 Análise centesimal

O mesmo resultado foi observado por Sharma et al. (2008) e por Bansal et al. (2012), onde o conteúdo de lipídeos reduziu com o aumento das concentrações de Se. O acúmulo excessivo de Se é tóxico a maioria das plantas, como foi observado nesse estudo nos tratamentos com selenato (Figura 1A), ficando mais evidente nas maiores doses, 4,0 e 8,0 mg kg⁻¹, que pode ser observado nas Figuras 1F e 1G, respectivamente. Com isso, pode ocorrer o estresse oxidativo nas plantas, resultando em danos à proteínas e lipídios, levando a distúrbios no metabolismo, respiração, fotossíntese e homeostase celular (DIMKOVÍKJ et al., 2015; VAN HOEWYK, 2013, 2016). Dessa forma, a maior translocação de Se na forma de selenato pelas folhas causou toxicidade nas plantas e, possivelmente, estresse oxidativo nelas, afetando o conteúdo de lipídeos, o qual diminuiu com o aumento das doses de Se (selenato).

As cinzas em alimentos referem-se ao resíduo inorgânico remanescente da queima da matéria orgânica sem resíduo de carvão. A partir disso, podemos inferir de acordo com os resultados obtidos, que o comportamento dessa variável pode ser atribuído ao fato da planta ter absorvido mais Se na forma inorgânica, que consiste no selenato e selenito, do que na forma orgânica (selenometionina e selenocisteína). Quando as formas inorgânicas de Se são absorvidas pelas células radiculares, o selenato é transportado no xilema até a parte aérea da planta, enquanto o selenito pode ser convertido em compostos de organosselênio (LI et al., 2008; WANG et al., 2015; WHITE et al., 2004). Foi observado neste estudo que a absorção de selenato pelas plantas foi significativamente maior quando comparada com a de selenito, que possivelmente ficou a maior parte adsorvida na superfície dos óxidos, ficando retido e menos disponível para a absorção das plantas. Com isso, a conversão do selenito em compostos orgânicos pode ter sido menor, o que pode ter refletido no predomínio de compostos inorgânicos nas plantas.

Estudos com alfafa (OWUSU-SEKYERE et al., 2013), feijão, (MALIK et al., 2010) e batata (TURAKAINEN; HARTIKAINEN; SEPPÄNEN, 2004) demonstraram comportamento semelhante ao observado neste estudo no conteúdo de carboidratos. Em um estudo mais recente realizado por Lara et al. (2019) em grãos de trigo, foi observado o aumento de carboidratos em plantas tratadas com Se na forma de selenato aplicado via foliar. O autor associou esse comportamento ao aumento da fotossíntese. O acúmulo de Se acima do nível ideal causa

distúrbios no metabolismo de carboidratos, dependentes dos níveis e formas de Se, bem como do estágio de desenvolvimento da planta (KAUR; SHARMA; SINGH, 2018), podendo também, como citado anteriormente, levar a distúrbios na fotossíntese.

Esses distúrbios podem levar a um aumento da taxa fotossintética e, conseqüentemente, a uma maior disponibilidade de carboidratos para o crescimento da planta, porém em diversos casos a planta se mostra incapaz de utilizar ou estocar esses açúcares (STITT, 1991; LUO et al., 1997). Com isso, pode ocorrer o aumento do conteúdo de carboidratos não estruturais (principalmente glicose, sacarose, frutose e amido) em folhas de plantas C_3 (KORNER; PELAEZ-RIEDL; VAN BEL, 1995). Dessa forma, as plantas podem responder a esse aumento do nível de carboidratos foliares de três maneiras: diminuindo a taxa fotossintética, o que provavelmente ocorreu no presente estudo, devido a diminuição do crescimento das plantas nos tratamentos com selenato com o aumento das doses de Se, como pode ser observado na Figura 1A, além da diminuição da massa fresca de folhas (Figura 2A); aumentando a capacidade de estoque temporário em folhas, caule e drenos já existentes, ou ainda, pela formação de novos drenos, como pode ser observada a formação de novas brotações nos tratamentos com selenato, principalmente nas maiores doses, 4,0 e 8,0 mg kg⁻¹, como pode ser verificado nas Figuras 1F e 1G, respectivamente (STITT, 1991).

4.4 Proteína total e aminoácidos livres totais

Comportamento semelhante foi observado por Owusu-Sekyere et al. (2013) em alfafa e por Lara et al. (2019) em trigo. O Se pode substituir o S nos aminoácidos cisteína e metionina para produzir selenocisteína e selenometionina. Esses selenoaminoácidos podem ser incorporados em proteínas de forma não específica, causando o mau funcionamento dessa (NEUHIERL; BOCK, 1996; STADTMAN, 1990; VAN HUYSEN et al., 2003). Uma possível explicação para os resultados obtidos seria que houve a troca de S por Se nos aminoácidos sulfurados, o que pode ter levado à mudança na composição estrutural desses, formando os selenoaminoácidos. Porém, não afetando o teor desses aminoácidos nas folhas. Com relação às proteínas, a maior parte dos selenoaminoácidos formados podem ter sido não proteicos, o que faz desses aminoácidos parcialmente indisponíveis para a síntese de proteínas, não sendo incorporados a elas e, não afetando a concentração de proteínas nas folhas. Além disso, pode não ter ocorrido a formação de selenoaminoácidos (formas orgânicas) e, conseqüentemente, a não incorporação em proteínas, ocorrendo o acúmulo de formas inorgânicas (selenato e

selenito) na planta. Outra possível explicação seria que a análise realizada para determinação dessas duas variáveis não foi sensível o suficiente para detectar o Se presente nas folhas.

4.5 Nutrientes

Como a proteína bruta e total não foram afetadas significativamente pelas fontes e doses de Se, o qual pôde ser observado nas Figuras 3A e Figura 4A, consequentemente, o teor de nitrogênio nas folhas também não foi afetado significativamente, tanto pelas doses, quanto pelas formas de Se, uma vez que o Se não influenciou no metabolismo deste nutriente. O mesmo resultado foi obtido em estudos com rabanete (DA SILVA et al., 2020) e alfafa (OWUSU-SEKYERE et al., 2013).

Pelo fato do Se e S apresentarem similaridades químicas, o Se (na forma de selenato) e S (na forma de sulfato) utilizam o mesmo transportador no processo de absorção das plantas (EL KASSIS et al., 2007; GIGOLASHVILI; KOPRIVA, 2014; SHIBAGAKI et al., 2002). A partir disso, pode-se dizer que houve uma interação sinérgica entre Se e S com o aumento das doses. Entretanto, esse sinergismo foi crescente até a dose 2 mg kg^{-1} e, após isso, foi constante. Comportamento semelhante foi observado em plantas de trigo, onde baixas doses de Se na forma de selenato, aumentaram o teor de S na planta (BOLDRIN et al., 2016).

Em relação ao conteúdo de Fe, uma possível explicação seria que na maioria dos solos tropicais, o selenito pode ser adsorvido pelos óxidos / hidróxidos de ferro e alumínio na fração argila, interferindo na disponibilidade de Se para as plantas (FORDYCE, 2013; PILBEAM; GREATHEAD; DRIHEM, 2015). Quando o selenito estava presente em pequenas concentrações na solução do solo este pode ter se ligado aos óxidos de Fe presentes no solo, deslocando o Fe para a solução do solo, deixando este mais disponível para que as plantas pudessem absorvê-lo. Quando aumentou o selenito no solo através do aumento das doses de Se, a solução do solo pode ter ficado saturada com selenito, deixando o Fe retido nos óxidos, ficando menos disponível para a absorção das plantas e, impedindo uma ampla absorção do mesmo.

Pazurkiewicz-Kocot, Kita e Pietruszka (2008) também observou a diminuição do conteúdo de Mg em folhas na cultura do milho ao aplicar selenito. Da Silva et al. (2020) observou o mesmo comportamento em raízes de rabanete com a aplicação de selenato e associou este à diminuição da produção de massa seca de raízes com a aplicação de selenato via solo, que influenciou a absorção de Mg pelas plantas.

Independentemente das fontes de Se, este não teve efeito significativo sobre a concentração de fósforo (P) (Figura 5C). Acredita-se que a absorção de Se na forma de selenito seja mediada por transportadores de fosfato radicular, ou seja, Se (selenito) e P (fosfato) compartilham o mesmo transportador. Na presença do selenito, a absorção de P pelas plantas pode ser afetada, já que pode haver competição entre eles no processo de absorção (LAZARD et al., 2010). Possivelmente, grande parte do selenito ficou adsorvida na superfície dos óxidos, ficando retido e menos disponível para a absorção das plantas, o que não afetou o teor do P absorvido por esta, não ocorrendo competição entre os elementos. O mesmo resultado foi obtido por Lukaszewicz, Politycka e Smoleń (2019) em raízes de mudas de ervilha.

4.6 Teor total de selênio, acúmulo de selênio e eficiência de absorção de selênio

Possivelmente pelo fato da translocação de Se pelas folhas nos tratamentos com selenito ter sido muito menor em relação ao selenato (Figura 6A e 6B), o selenito pode não ter sido eficiente em promover a translocação de Se pelas folhas. É possível que esses comportamentos observados de acordo com os resultados obtidos tenham ocorrido pelo fato de que grande parte do selenito possa ter ficado retida no solo, uma vez que este pode ser fortemente retido em óxidos e hidróxidos de Fe / Al, apresentando baixa mobilidade no solo quando comparado ao selenato, ficando menos disponível para a absorção das plantas. A diferença no comportamento de retenção de selenato e selenito reflete em diferentes teores de Se disponíveis para as plantas, sendo o selenato muito mais fitodisponível para elas (LOPES; ÀVILA; GUILHERME, 2017). Além disso, o selenato apresenta maior mobilidade no xilema das plantas, acumulando-se mais na parte superior dessas (RENKEMA et al., 2012), como foi observado nas folhas do presente trabalho. A maior eficiência das folhas em absorver Se em seus tecidos (100 vezes mais que os caules), o maior teor total de Se nessas e o maior acúmulo de Se em seus tecidos pode ter ocorrido uma vez que as folhas são a terminação do tecido vascular da planta (xilema), sendo este capaz de conduzir o Se até as folhas, onde é esperado que seja acumulado com maior magnitude. Apesar dos altos teores de Se absorvidos e acumulados na maior dose ($8,0 \text{ mg kg}^{-1}$) aplicada no tratamento com selenato, as plantas apresentaram sintomas de toxicidade, como foi mostrado anteriormente nas Figuras 1C, 1D e 1E, além da redução do crescimento (Figura 1A) e, conseqüentemente, a redução da matéria fresca de folhas (Figura 2A) e seca de caules (Figura 2C), o que mostra que em doses acima do nível adequado e de acordo com a cultura, o Se pode afetar negativamente as plantas, deixando essas inaptas para o consumo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Lavu et al. (2012) em alho poró, onde os teores de Se nos tratamentos com selenato foram 10 vezes maiores quando comparados aos tratamentos com selenito aplicados via solo. Estudos com a cultura do arroz demonstraram que a aplicação de selenato via solo proporcionou maior teor de Se nos grãos. Quanto ao acúmulo, Boldrin et al. (2013) observaram que a aplicação de selenato levou a maiores acúmulos de Se quando comparado ao selenito nas duas formas de aplicação, via solo e via foliar, sendo que 70% do Se na forma de selenato foi acumulado na parte aérea da planta quando aplicado via solo.

Com os dados obtidos, podemos classificar a espécie *Pereskia aculeata* quanto a capacidade de acumular Se em seus tecidos. De acordo com a classificação de Brown e Shrift (1982) e Läuchli (1993) as plantas podem ser classificadas em hiperacumuladoras de Se, acumuladoras de Se (ou acumuladoras secundárias de Se) e não acumuladoras. Com isso, esta espécie pode ser considerada uma acumuladora de Se, uma vez que foi capaz de acumular entre 100 e 1000 mg kg⁻¹ de Se em seus tecidos (ANDERSON, 1993; LÄUCHLI, 1993), além de apresentar o selenato como a principal forma de Se absorvida (BROWN; SHRIFT, 1982; EL-MEHDAWI; PILON-SMITS, 2012; ROSENFELD; BEATH, 1964; WHITE, 2016; WHITE et al., 2004, 2007a).

5 CONCLUSÃO

A espécie pode ser classificada como uma acumuladora de Se, uma vez que foi capaz de acumular entre 100 e 1000 mg kg⁻¹ de Se em seus tecidos. Entretanto, apesar dessa possível classificação, nas doses em que as plantas foram capazes de acumular altas concentrações de Se com a fonte selenato, ocorreu toxicidade nas plantas, o que mostra que o fato delas acumularem muito Se nos seus tecidos não foi interessante, uma vez que causou danos fisiológicos e de produção à elas, reduzindo a produção de matéria fresca de folhas e matéria seca de caules, além do conteúdo de lipídeos.

A aplicação de Se na forma de selenato, foi capaz de promover o aumento do conteúdo de S nas folhas até a dose 2,0 mg kg⁻¹ e, na forma de selenito, aumentou o conteúdo de Fe até a dose 4,0 mg kg⁻¹. O conteúdo de Mg foi afetado na dose 1,0 mg kg⁻¹ quando foi feita a aplicação de selenito, ocorrendo uma pequena diminuição da absorção desse elemento pelas plantas e, na fonte selenato, o conteúdo de Mg foi afetado na dose 8,0 mg kg⁻¹, onde também houve diminuição da absorção desse elemento pelas plantas.

REFERÊNCIAS

- ADEMILUYI, A. O.; OGUNSUYI, O. B.; OBOH, G. Alkaloid extracts from Jimson weed (*Datura stramonium* L.) modulate purinergic enzymes in rat brain. **Neurotoxicology**, v. 56, p. 107-117, 2016.
- AGGARWAL, M. et al. Exogenous proline application reduces phytotoxic effects of selenium by minimising oxidative stress and improves growth in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Seedlings. **Biological Trace Element Research**, v. 140, n. 3, p. 354-367, 2011.
- ANDERSON, J. W. Selenium interactions in sulfur metabolism. In: DE KOK, L. J. **Sulfur nutrition and assimilation in higher plants: regulatory, agricultural and environmental aspects**. The Hague: SPB Academic Publishing, 1993. p. 49–60.
- AOAC. (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis**. Washington: AOAC, 15.ed., 1990.
- BANSAL, A. et al. Selenium Accumulation and Biochemical Composition of *Brassica* Grains Grown in Selenate- or Selenite- Treated Alkaline Sandy Loam Soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 43, n. 9, p. 1316–1331, 2012.
- BAÑUELOS, G. S; LIN Z. Q.; BROADLEY, M. Selenium biofortification. In: EAH, P. S.; LHE, W.; Lin, Z. Q. **Selenium in plants: molecular, physiological, ecological and evolutionary aspects**. Cham, Switzerland: Springer, 2017. p. 231–55.
- BOLDRIN, P. F. et al. Selenium promotes sulfur accumulation and plant growth in wheat (*Triticum aestivum*). **Physiologia Plantarum**, v. 158, n. 1, p. 80–91, 2016.
- BOLDRIN, P. F. et al. Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 31, n. 2, p. 238–244, 2013.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248–254, 1976.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Alimentos regionais brasileiros**. (Série F. Comunicação e Educação em Saúde). Brasília, DF, 2002.
- BROADLEY, M. R. et al. Biofortification of UK food crops with selenium. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 65, p. 169-181, 2006.
- BROADLEY, M. R. et al. Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilisation. **Plant and Soil**, 332, p. 5-18, 2010.
- BROWN, T. A.; SHRIFT, A. Selenium: toxicity and tolerance in higher plants. **Biological Reviews**, v. 57, n. 1, p. 59–84, 1982.
- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, v. 302, n. 1–2, p. 1–17, 2008.

- CARVALHO, A. M. X. Estatística Experimental e Observacional: uma nova e explicativa abordagem voltada para a ciência do solo. 1ª Ed. Viçosa, **Editora da UFV**, 2019. (no prelo).
- CARVALHO, G. S. et al. Selenium and mercury in Brazilian Cerrado soils and their relationships with physical and chemical soil characteristics. **Chemosphere**, v. 218, p. 412–415, 2019.
- CHEN, Y. et al. The endogenous nitric oxide mediates selenium-induced phytotoxicity by promoting ROS generation in *Brassica rapa*. **PLOS One**, v. 9, n. 10, p. 110-901, 2014.
- COCKING, E. C.; YEMM, E. W. Estimation of amino acids by ninhydrin. **Biochemical Journal**, v. 58, p. 12-13, 1954.
- DA SILVA, D. F. et al. Biofortification with selenium and implications in the absorption of macronutrients in *Raphanus sativus* L. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 86, 2020.
- DIMKOVIKJ, A. et al. Stuck between a ROS and a hard place: Analysis of the ubiquitin proteasome pathway in selenocysteine treated *Brassica napus* reveals different toxicities during selenium assimilation. **Journal of Plant Physiology**, v. 181, p. 50–4, 2015.
- DIMKOVIKJ, A.; VAN HOEWYK, D. Selenite activates the alternative oxidase pathway and alters primary metabolism in *Brassica napus* roots: evidence of a mitochondrial stress response. **BMC Plant Biology**, n. 259, 1-14, 2014.
- DUCSAY, L. et al. Possibility of selenium biofortification of winter wheat grain. **Plant, Soil and Environment**, v. 62, n. 8, p. 379-383, 2016.
- EICHE, E. et al. Selenium distribution and speciation in plant parts of wheat (*Triticum aestivum*) and Indian mustard (*Brassica juncea*) from a seleniferous area of Punjab. **Science of the Total Environment**, n. 505, p. 952-961, 2015.
- 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.
- EL-MEHDAWI, A. F.; PILON-SMITS, E. A. H. Ecological aspects of plant selenium hyperaccumulation. **Plant Biology**, v. 14, p. 1-10, 2012.
- FAO.; IFAD.; UNICEF.; WFP.; WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2017**. Rome: FAO, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-I7695e.pdf>. Acesso em: Jan. 2020.
- FORDYCE, F. M. Selenium deficiency and toxicity in the environment. In: **Essentials of medical geology**. Dordrecht: **Springer**, 2013. p. 375-416.
- GIGOLASHVILI, T.; KOPRIVA, S. Transporters in plant sulfur metabolism. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 422, 2014.
- GRONNER, A.; SILVA, V. D. da; MALUF, W. R. Ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*) - a carne de pobre. **Boletim Técnico de Hortaliças**, Lavras, 1. ed., n. 37, p. 2, 1999.

- KAUR, M.; SHARMA, S.; SINGH, D. Influence of selenium on carbohydrate accumulation in developing wheat grains. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, n. 13, p. 1650-1659, 2018.
- KINUPP, V. F. Plantas alimentícias alternativas no Brasil: uma fonte complementar de alimento e renda. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 1, n. 1, p. 333-336, 2006.
- KINUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. Teores de proteína e minerais de espécies nativas, potenciais hortaliças e frutas. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 846-857, 2008.
- KORNER, C.; PELAEZ-RIEDL, S.; VAN BEL, A. J. E. CO₂ responsiveness of plants: a possible link to phloem loading. **Plant, Cell and Environment**, v. 18, p. 595-600, 1995.
- LARA, T. S. et al. Selenium biofortification of wheat grain via foliar application and its effect on plant metabolism. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 81, p. 10-18, 2019.
- LÄUCHLI, A. Selenium in plants: uptake, functions, and environmental toxicity. **Botanica Acta**, n. 106, p. 455-468, 1993.
- LAVU, R. V. S. et al. Fertilizing Soil with Selenium Fertilizers: Impact on Concentration, Speciation, and Bioaccessibility of Selenium in Leek (*Allium ampeloprasum*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 60, v. 44, p. 10930-10935, 2012.
- LAZARD, M. et al. Uptake of selenite by *Saccharomyces cerevisiae* involves the high and low affinity orthophosphate transporters. **Journal of Biological Chemistry**, n. 285, p. 32029-32037, 2010.
- LI, H. F.; MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. J. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. **New Phytologist**, n. 178, p. 92-102, 2008.
- LOPES, G.; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, L. R. G. Selenium behavior in the soil environment and its implication for human health. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 6, p. 605-615, 2017.
- ŁUKASZEWICZ, S.; POLITYCKA, B.; SMOLEŃ, S. Accumulation of selected macronutrients and tolerance towards selenium of garden pea treated with selenite and selenate. **Journal of Elementology**, n. 24, v. 1, p. 245-256, 2019.
- LUO, Y. et al. Disproportional increases in photosynthesis and plant biomass in a Californian glassland exposed to elevated CO₂: a simulation analysis. **Functional Ecology**, n. 11, p. 696-704, 1997.
- MADEIRA, N. R. et al. Manual de produção de Hortaliças Tradicionais. **Embrapa**, Brasília, DF, p. 155, 2013.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola adubos e adubações. **Editora agronômica Ceres**, São Paulo, 3. ed., 1981.
- MALIK, J. A. et al. Promotion of Growth in Mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) by Selenium is Associated with Stimulation of Carbohydrate Metabolism. **Biological Trace Element Research**, n. 143, v. 1, p. 530-539, 2010.

- MATOS, R. P. et al. Correlation between the natural levels of selenium and soil physicochemical characteristics from the Jequitinhonha Valley (MG), Brazil. **Journal Geochemical Exploration**, v. 172, p. 195–202, 2017.
- MHAMDI, A.; VAN BREUSEGEM, F. Reactive oxygen species in plant development. **Development**, n. 145, 2018.
- MIRLEAN, N.; SEUS-ARRACHE, E. R.; VLASOVA, O. Selenium deficiency in subtropical littoral pampas: environmental and dietary aspects. **Environmental Geochemistry and Health**, n. 40, v. 1, p. 543-556, 2017.
- MOLNÁROVÁ, M.; FARGAŠOVÁ, A. Se (IV) phytotoxicity for monocotyledonae cereals (*Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L.) and dicotyledonae crops (*Sinapis alba* L., *Brassica napus* L.). **Journal of Hazardous Materials**, n. 172, v. 2-3, p. 854-861, 2009.
- MORA, M. L. et al. Improving selenium status in plant nutrition and quality. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 15, p. 486-503, 2015.
- MOSTOFA, M. G. et al. Hydrogen sulfide modulates cadmium-induced physiological and biochemical responses to alleviate cadmium toxicity in rice. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, 2015b.
- MOSTOFA, M. G. et al. Phenotypical, physiological and biochemical analyses provide insight into selenium-induced phytotoxicity in rice plants. **Chemosphere**, n. 178, p. 212-223, 2017.
- MOSTOFA, M. G. et al. Physiological and biochemical mechanisms associated with trehalose-induced copper-stress tolerance in rice. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, 2015a.
- NEUHIERL, B.; BOCK, A. On the mechanism of selenium tolerance in selenium-accumulating plants. Purification and characterization of a specific selenocysteine methyltransferase from cultured cells of *Astragalus bisulcatus*. **European Journal of Biochemistry**, n. 239, p. 235-238, 1996.
- OWUSU-SEKYERE, A. et al. Influence of selenium (Se) on carbohydrate metabolism, nodulation and growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Plant and Soil**, n. 373, v. 1-2, p. 541-552, 2013.
- PAZURKIEWICZ-KOCOT, K.; KITA, A.; PIETRUSZKA, M. Effect of selenium on magnesium, iron, manganese, copper, and zinc accumulation in corn treated by indole-3-acetic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, p. 2303-2318, 2008.
- PILBEAM, D. J.; GREATHEAD, H. M. R.; DRIHEM, K. Selenium. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **A handbook of plant nutrition**. Boca Raton, FL: **CRC Press**, 2015. 2. ed. p. 165-98.
- PINTO, N. D. C. C. et al. *Pereskia aculeata* Miller leaves accelerate excisional wound healing in mice. **Journal of ethnopharmacology**, n. 194, p. 131-136, 2016.
- PINTO, N. D. C. C. et al. *Pereskia aculeata*: a plant food with antinociceptive activity. **Pharmaceutical biology**, v. 53, n. 12, p. 1780-1785, 2015.

- PINTO, N. D. C. C.; MACHADO, D. C. et al. *Pereskia aculeata* Miller leaves present in vivo topical anti-inflammatory activity in models of acute and chronic dermatitis. **Journal of ethnopharmacology**, n. 173, p. 330-337, 2015.
- PINTO, N. D. C. C.; SCIO, E. The biological activities and chemical composition of *Pereskia* species (Cactaceae) - A review. **Plant foods for human nutrition**, v. 69, n. 3, p. 189-195, 2014.
- PINTO, N. et al. Cytotoxic and antioxidant activity of *Pereskia aculeata* Miller. **Pharmacology Online**, v. 3, p. 63-69, 2012.
- RAYMAN, M. P. The argument for increasing selenium intake. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 61, n. 2, p. 203-215, 2002.
- REIS, A. et al. Overview of selenium deficiency and toxicity worldwide: affected areas, selenium-related health issues, and case studies. In: DE KOK, L. J.; HAKESFORD, M. J. **Plant Ecophysiology**. Gewerbestrasse: Springer, 2017. p. 209-230.
- RENKEMA, H. et al. The effect of transpiration on selenium uptake and mobility in durum wheat and spring canola. **Plant Soil**, n. 354, p. 239-250, 2012.
- ROSENFELD, I.; BEATH, O. A. Selenium: geobotany, biochemistry, toxicity, and nutrition. **Academic Press**, New York, 1964.
- SANTOS, H. G. et al. Sistema brasileiro de classificação de Solos. **Embrapa**, Brasília, 5. ed. 2018.
- SHARMA, S. et al. Changes in biochemical components of wheat and rapeseed grown on selenium-contaminated soil. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 54, n. 1, p. 33-40, 2008.
- SHIBAGAKI, N. et al. Selenate-resistant mutants of *Arabidopsis thaliana* identify sultr1;2, a sulfate transporter required for efficient transport of sulfate into roots. **Plant Journal**, n. 29, p. 475-486, 2002.
- SILVA JUNIOR, E. C. et al. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. **Chemosphere**, v. 188, p. 650-658, 2017.
- SOIL SURVEY STAFF. United States Department of Agriculture. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Natural Resources Conservation Service. **Agriculture Handbook**, 2. ed., n. 436, p. 1-871, 1999.
- SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynthesis Research**, v. 86, p. 373-389, 2005.
- SOUSA, R. M. et al. Antioxidant activity of Ora-Pro-Nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) leaves extracts using spectrophotometric and voltammetric assays *in vitro*. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 448-457, 2014.
- SOUZA, L. et al. *Pereskia aculeata* Miller (Cactaceae) leaves: Chemical composition and biological activities. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, p. 1478, 2016.

- STADTMAN, T. Selenium biochemistry. **Annual Review of Biochemistry**, v. 59, p. 111–127, 1990.
- STITT, M. Rising CO₂ levels and their potential significance for carbon flow in photosynthetic cells. **Plant, Cell and Environment**, v. 14, p. 741-762, 1991.
- TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa**, Brasília, 3. ed., 2017.
- TERRY, N. et al. Selenium in higher plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 51, n. 1, p. 401–432, 2000.
- THOUNAOJAM, T. C. et al. Excess copper induced oxidative stress and response of antioxidants in rice. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 53, p. 33-39, 2012.
- 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.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Microwave assisted acid digestion of sediments sludge, soils, and oils**. EPA SW 846 3051a, p. 30, 2007.
- VAN HOEWYK, D. A tale of two toxicities: malformed selenoproteins and oxidative stress both contribute to selenium stress in plants. **Annals of Botany**, n. 112, v. 6, p. 965-972, 2013.
- VAN HOEWYK, D. Defects in endoplasmic reticulum-associated degradation (ERAD) increase selenate sensitivity in *Arabidopsis*. **Plant Signaling & Behavior**, n. 13, v. 4, 2016.
- VAN HUYSEN, T. et al. Overexpression of cystathionine- γ -synthase in Indian mustard enhances selenium volatilization. **Planta**, v. 218, p. 71-78, 2003.
- WANG, Y. et al. Reduction of selenium-binding protein 1 sensitizes cancer cells to selenite via elevating extracellular glutathione: a novel mechanism of cancer-specific cytotoxicity of selenite. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 79, p. 186–96, 2015.
- 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. et al. Selenium and its relationship with sulfur. In: HAWKESFORD, M.; KOK, L. **Sulfur in plants - an ecological perspective**. Dordrecht: Springer, 2007. p. 225- 252.
- WHITE, P. J. et al. Extraordinarily high leaf selenium to sulphur ratios define ‘Se-accumulator’ plants. **Annals of Botany**, v. 100, p. 111–118, 2007a.
- WHITE, P. J. Selenium accumulation by plants. **Annals of Botany**, v. 117, p. 217-235, 2016.
- WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, v. 10, p. 586-593, 2005.
- WU, Z. et al. Biofortification and phytoremediation of selenium in China. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 136, 2015.