

YASMINE OHANNA TOLEDO MARZULLO

BIOFORTIFICAÇÃO COM SELÊNIO NA BATATA-DOCE

Botucatu

2021

YASMINE OHANNA TOLEDO MARZULLO

BIOFORTIFICAÇÃO COM SELÊNIO NA BATATA-DOCE

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Horticultura).

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Magali Leonel

Botucatu

2021

M393b	Marzullo, Yasmine Ohanna Toledo Biofortificação com selênio na batata-doce / Yasmine Ohanna Toledo Marzullo. -- Botucatu, 2021 67 p. : il., tabs., fotos Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientadora: Magali Leonel 1. Agricultura. 2. Biofortificação agrônômica. 3. Elementos traços na nutrição. 4. Minerais na nutrição. 5. Plantas nutrição. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

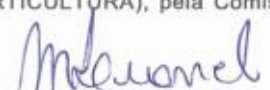
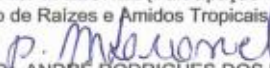
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: BIOFORTIFICAÇÃO DE SELÊNIO NA BATATA DOCE

AUTORA: YASMINE OHANNA TOLEDO MARZULLO

ORIENTADORA: MAGALI LEONEL

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (HORTICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Dr.ª MAGALI LEONEL (Participação Virtual)
Centro de Raízes e Amidos Tropicais / Universidade Estadual Paulista - UNESP
Prof. Dr. ANDRÉ RODRIGUES DOS REIS (Participação Virtual)
Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã
Prof.ª Dr.ª THAIS PAES RODRIGUES DOS SANTOS (Participação Virtual)
Pós-Doutoranda - CERAT / Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP

Botucatu, 23 de fevereiro de 2021

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Horticultura) pela oportunidade concedida, me permitindo realizar o sonho de continuar a minha carreira acadêmica.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Magali Leonel, pela orientação.

Ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT/UNESP), pela infraestrutura disponibilizada e equipe qualificada, em especial à Juliana A. M. Eburneo, pela paciência e pelos ensinamentos.

Aos amigos que ganhei ao longo dessa jornada, em especial à Brunna Rithielly Rezende, agradeço imensamente por toda a amizade e o companheirismo. E ao Hebert Teixeira Candido, pelos ensinamentos e parceria.

À minha mãe e a minha irmã, por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e me encorajando. Reafirmo meu eterno amor, gratidão e admiração, uma vez que com todo amor e carinho me guiaram e me protegeram ao longo de toda jornada.

À minha avó, Helena Barbosa Marzullo, pelo apoio e pelas boas risadas.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), UNESP, e a todos os docentes e funcionários que contribuíram para a minha formação.

A todos que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento e realização deste trabalho, assim como em cada etapa da minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

O selênio (Se) é um nutriente essencial às funções do corpo humano, e carente em grande parte da população, podendo ser incorporado à nutrição humana via produtos agrícolas. Entretanto, a concentração de Se em produtos agrícolas consumidos no Brasil é considerada baixa em relações aos padrões internacionais. Com o propósito de produzir alimentos nutricionalmente mais completos e saudáveis para o consumo humano, a biofortificação é uma técnica eficaz e segura nos cultivos agrícolas. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar fontes e dosagens de Se para biofortificar raízes de batata-doce. O experimento foi conduzido em estufa agrícola, em delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 2x5, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de selênio, selenato e selenito de sódio, e cinco doses via solo (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 mg dm⁻³), perfazendo um total de dez tratamentos. Foram avaliadas características de produção total, composição centesimal, dureza, os teores de N, P, K, Ca, Mg, S e Se, nas raízes tuberosas. Quanto aos teores de selênio, foi identificado e quantificado apenas a presença de selenato nas raízes de batata-doce, apresentando diferença significativa entre as diferentes dosagens. O selenato influenciou os teores de cinzas, fibras, proteína, açúcar redutor, açúcar total, amido, dureza e P. A biofortificação com Se foi eficaz, utilizando a fonte selenato, proporcionando um maior acúmulo do nutriente nas raízes de batata-doce. A batata-doce biofortificada consegue suprir a recomendação de selênio, quando consumida diariamente, na quantidade de 172 gramas.

Palavras-chave: Biofortificação agrônômica; *Ipomoea batatas* L.; nutrição humana.

ABSTRACT

Selenium (Se) is an essential nutrient for human body functions, and lacks in a large part of the population, being incorporated into human nutrition via agricultural products. However, the concentration of Se in national agricultural products is considered low, when compared to international standards. In order to increase the nutritional quality and produce healthier food for human consumption, the biofortification is an effective and safe technique in agricultural crops. Thus, the present study had the purpose to evaluate different sources and doses of Se aiming to biofortify tuberous roots of sweet potato. The experiment was conducted in a greenhouse. The design was completely randomized, in a 2x5 factorial scheme, with four replications. The treatments consisted of two sources of selenium, selenate and selenite, and five doses via soil (0; 0.5; 1.0; 1.5; 2.0 mg dm⁻³), making a total of ten treatments. The study evaluated the total crop production, centesimal composition, texture and levels of N, P, K, Ca, Mg, S and Se in roots of sweet potato. The different doses of selenite influenced the levels of ash, fibers, protein, reducing sugar, total sugar, starch, as well as texture and the levels of P. Only the presence of selenate was identified and quantified in sweet potato, presenting a significantly difference between the different dosages. Biofortification with Se was effective, using selenate as a source, providing a higher accumulation of the nutrient in the plant. The biofortified sweet potato is able to meet the daily recommendation of selenium, when consumed in an amount of 172 grams per day.

Keywords: Agronomic biofortification; *Ipomoea batatas* L.; human nutrition.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1	Batata-doce.....	16
2.2	Biofortificação agronômica.....	19
2.3	Selênio na saúde humana.....	20
2.4	Selênio nas plantas.....	23
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1	Localização e caracterização da área experimental.....	25
3.2	Clima.....	25
3.3	Solo.....	26
3.4	Delineamento experimental e tratamentos.....	27
3.5	Caracterização da cultivar utilizada.....	28
3.6	Instalação e condução do experimento.....	28
3.7	Avaliações.....	30
3.7.1	Análise de produção total das raízes de batata-doce.....	30
3.7.2	Determinação do teste de textura das raízes de batata-doce.....	30
3.7.3	Determinação do teor de matéria seca das raízes de batata-doce.....	30
3.7.4	Composição centesimal das raízes de batata-doce.....	31
3.7.4.1	Determinação da umidade.....	31
3.7.4.2	Determinação do teor de cinzas.....	31
3.7.4.3	Determinação do teor de fibra.....	31
3.7.4.4	Determinação do teor de matéria graxa.....	31
3.7.4.5	Determinação do teor de proteína.....	32
3.7.4.6	Determinação do teor de açúcares redutores.....	32
3.7.4.7	Determinação do teor de açúcares totais.....	32
3.7.4.8	Determinação do teor de amido.....	32
3.7.5	Teor de macro e micronutrientes.....	33
3.7.5.1	Determinação dos teores de selênio nas plantas.....	33
3.8	Análise estatística.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	Efeito da adubação com selênio sobre a produção de raízes de batata-doce.....	34
4.2	Efeito da adubação com selênio na dureza das raízes de batata-doce.....	35
4.3	Efeito da adubação com selênio sobre a composição centesimal de raízes de batata-doce.....	41
4.4	Efeito da adubação com selênio sobre os minerais na batata-doce.....	42
4.5	Análise de componentes principais (PCA).....	45
4.5	Mapa de calor “heatmap”.....	47
5	CONCLUSÕES.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Os déficits nutricionais constituem um sério problema de saúde pública, afetando mais de metade da população mundial, particularmente aquelas dos países em desenvolvimento (WHO, 2018). O estado de carência de determinados nutrientes no organismo é definido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como fome oculta, e acomete uma em cada quatro pessoas no mundo (WHO, 2014). Órgãos como OMS, FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) e Unicef (Fundo das Nações Unidas para a Infância) sugerem que para o combate à fome oculta, é necessário a implementação de programas de intervenção direcionados para a fortificação de alimento.

Nesse sentido, a biofortificação é uma técnica considerada inovadora e eficiente nos cultivos agrícolas, representando um meio de intervenção agrícola eficaz e seguro, com o objetivo de melhorar a qualidade nutricional dos alimentos. A biofortificação pode ser implementada via melhoramento genético ou por meio da fertilização de plantas. Na biofortificação agrônômica, o suprimento nutricional é realizado via solo ou via foliar, proporcionando assim o enriquecimento de culturas vegetais.

O Brasil está em evidência no desenvolvimento de projetos na área da biofortificação. A Rede BioFORT, coordenada pela Embrapa, é o conjunto de projetos nacionais responsáveis pela biofortificação de alimentos, visando reduzir a desnutrição e assegurar maior segurança alimentar. O país é o único onde são coordenados, concomitantemente, trabalhos com oito diferentes culturas, sendo elas, abóbora, arroz, batata-doce, feijão, feijão-caupi, mandioca, milho e trigo (ROCHA, 2014). Até o momento já foram desenvolvidos três cultivares de mandioca de mesa com maiores teores de pró-vitamina A, duas cultivares de feijão-caupi com altos teores de ferro e zinco e uma variedade de batata-doce com alto teor de pró-vitamina A.

O micronutriente selênio (Se), por sua vez, é considerado um elemento mineral essencial à saúde humana, atuando na constituição de importantes proteínas e enzimas, com diferentes funções fisiológicas, antioxidativas (WONG *et al.*, 2010), anticancerígenas (TARA *et al.*, 2010), e estimulantes da imunidade (RAMOUTAR e BRUMAGHIM, 2010). Apesar da necessidade e da importância

desse elemento traço na dieta humana, estima-se que 15% da população mundial apresenta deficiência de Se (HAWRYLAK-NOWAK, 2013). Para reduzir a deficiência de Se em regiões suscetíveis, o desenvolvimento de culturas usando intervenções de biofortificação tem sido realizado em vários países, como Finlândia, Reino Unido, Nova Zelândia, Malawi, partes da China, Tibete e Brasil (ALFTHAN *et al.*, 2015; BROADLEY *et al.*, 2006; REIS *et al.*, 2017; WU *et al.*, 2015).

O Se é inserido na nutrição humana principalmente via produtos agrícolas (JOY *et al.*, 2015). O teor desse mineral em produtos vegetais no Brasil é baixo, em relações aos padrões internacionais. A concentração de Se nas plantas está associada com a disponibilidade desse elemento no solo e a capacidade de absorção e acúmulo pelos vegetais. Dessa forma, o baixo teor desse elemento encontrado nos solos brasileiros pode ser um dos principais fatores para o baixo teor de Se em produtos agrícolas nacionais (HAWRYLAK-NOWAK, 2013).

A deficiência de Se no organismo humano está associada a disfunções da glândula tireóide, danos cerebrais, doença vascular periféricas, doença de Kashin-Beck, prejuízo do mecanismo de resposta imune a infecções virais, infertilidade masculina, doenças cardíacas e maior risco de diferentes tipos de câncer (COMBS, 2000; DAVIS *et al.*, 2012; RAYMAN, 2012; RIAZ e MEHMOOH, 2012; CARDOSO, 2015). Devido a importância do Se na saúde humana e a grande deficiência desse elemento na alimentação, em diversos países, é necessário a implementação de estratégias como a biofortificação, para alcançar a concentração adequada e permitida nos alimentos, garantindo assim a segurança alimentar.

No contexto de segurança alimentar, a batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) se destaca em sétimo lugar mundial dentre as culturas alimentícias básicas, e em quarto lugar entre as hortaliças mais consumida no Brasil (PERESSIN e FELTRAN, 2014), sendo considerada uma das culturas alimentícias de maior valor nutritivo nos trópicos e subtrópicos. Diferentes estudos enunciam a batata-doce como uma cultura de alto valor energético, vitamínico e mineral. Devido a sua elevada composição nutricional, é considerada uma cultura alimentícia com potencial para a redução de deficiências nutricionais em parcelas populacionais carentes em calorias ou nutrientes, (KEHOE *et al.*, 2015).

O cultivo de batata-doce apresenta importância em diferentes aspectos, tanto econômico, como nutricional e social. Contudo, a cultura ainda é considerada de subsistência, onde sua produção majoritária é oriunda da agricultura familiar (LIMA *et al.*, 2018). A nível nacional, em torno de 24% dos municípios produzem a cultura, tanto para sua subsistência quanto para comercialização (MELLO, 2015). É cultivada em pequena e em larga escala, em diferentes regiões, sob diferentes condições edafoclimáticas e diversificados níveis de tecnificação.

Apesar de sua importância para o país, a cultura da batata-doce ainda é pouco explorada na comunidade científica. Muitas recomendações agronômicas são provenientes de outras hortaliças tuberosas, além da carência de produtos fitossanitários registrados para a cultura (MELLO, 2015).

Devido a importância do Se para a saúde humana, e da batata-doce como importante base para a segurança alimentar mundial, o presente trabalho objetivou avaliar diferentes fontes e dosagens de selênio aplicadas no cultivo da batata-doce, visando verificar os efeitos da biofortificação agronômica sobre aspectos de produção e características físico-química das raízes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Batata-doce

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.)), é uma cultura perene, classificada como raiz tuberosa, originada na América tropical, e que possui grande potencial na agricultura, devido a sua facilidade de adaptação a diferentes condições climáticas, e ao seu cultivo de baixo custo (SOARES, 2013).

A cultura da batata-doce tem recebido destaque nos últimos anos devido ao seu importante papel socioeconômico, sendo considerada uma das culturas alimentícias de maior valor nos trópicos. A cultura apresenta-se como importante fonte de nutrientes, podendo ser utilizada para melhoraria da alimentação, principalmente nos países em desenvolvimento. Possui alto teor de vitamina A, vitaminas do complexo B e de minerais, como o cálcio, enxofre, ferro, magnésio e potássio (LOW *et al.*, 2007).

A batata-doce é uma das principais culturas tuberosas produzidas em escala mundial, principalmente em regiões tropicais e temperadas da África, América e Ásia. Dados estatísticos da FAO (2019) apontam a China como maior produtor mundial, com 71,7 milhões de toneladas. Mais de 97% da produção mundial de batata-doce é oriunda de países em desenvolvimento, onde a mesma assume um papel de vital importância no abastecimento alimentício interno e como complemento nutricional na dieta da sua população (LAURIE *et al.*, 2013).

No ano de 2019, a produção total nacional de batata-doce foi de 805.412 mil toneladas em 57.486 hectares plantados (IBGE, 2019). Dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA) mostram que o estado de São Paulo produziu 147.959 toneladas de batata-doce em 2019, o que representa cerca de 20% da produção nacional, sendo as principais regiões produtoras Presidente Prudente, Araçatuba, Tupã, Jaboticabal e Dracena (IEA, 2019).

O ciclo de desenvolvimento da batata-doce constitui-se em três fases: a fase inicial, onde ocorre o crescimento das raízes adventícias; a fase intermediária em que se verifica o início da tuberização; e a fase final, estabelecida pelo acúmulo de fotoassimilados nas raízes tuberosas (QUEIROGA *et al.*, 2007). O início da tuberização verifica-se pela expansão do diâmetro das raízes adventícias (MEDEIROS *et al.*, 1990). As condições ambientais como a temperatura e a

radiação solar são fatores determinantes na formação de raízes tuberosas. Temperaturas elevadas ou baixas atrasam ou impedem o início da tuberização (VILLORDON *et al.*, 2009). A temperatura ideal para o crescimento das raízes tuberosas está em torno de 25°C (SPENCE e HUMPHRIES, 1972; VILLAVICENCIO *et al.*, 2007; RAVI *et al.*, 2009).

As características mais marcantes dessa cultura são sua rusticidade, facilidade de cultivo, resistência à seca e ampla capacidade de adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (CARDOSO *et al.*, 2007). Sua resposta à adubação depende das condições do solo em que é cultivada. Este deve ser bem drenado, possuindo textura média e arenosa, com pH entre 4,5 e 7,7 (PERESSIN e FELTRAN, 2014). Quando cultivada em solos de média a alta fertilidade, geralmente não manifesta resultado à adubação. No entanto, em solos pouco férteis, o uso de fertilizantes promove incremento na produtividade, de acordo com Monteiro e Peressin (1997), e Echer *et al.* (2009).

A necessidade hídrica da cultura se encontra em torno de 500 a 750 mm de lâmina de água durante o ciclo produtivo (EMBRAPA, 1995; SOARES *et al.*, 2002). Já as exigências de macro minerais da cultura seguem à seguinte ordem decrescente, descritos pela FAO (2006): potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Para grande parte das hortaliças tuberosas, o K é o nutriente mineral mais exigido. As lavouras de batata-doce têm manifestado altas respostas à adubação potássica (FILGUEIRA, 2003). O K atua nos processos de divisão celular, iniciação da raiz tuberosa e de seu espessamento, translocação de carboidratos na planta, dentre outras funções (MARSCHNER, 1995). Segundo Corrêa *et al.* (2014; 2016), o K ainda melhora a eficiência de uso da água, intensifica a adubação nitrogenada e potencializa a fotossíntese e a respiração celular (MARSCHNER, 1995).

Entretanto, a aplicação de elevadas doses de K pode prejudicar o desenvolvimento das plantas, devido ao aumento da concentração salina, ou por meio de perdas por lixiviação, devendo a adubação ser recomendada de acordo com a análise de solo. O cloreto de potássio (KCl) é a fonte mais utilizada na adubação potássica (NASCIMENTO, 2013; LOPES, 1998; COUTINHO *et al.*, 1993). De acordo com Monteiro e Peressin (1997), as recomendações para o estado de São Paulo seguem o Boletim 100, onde é aplicado 60 kg ha⁻¹ de K no

plantio e 90-120 kg ha⁻¹ em cobertura, após 45 dias de plantio. O parcelamento do K se dá em função do mesmo ser um elemento solúvel e bastante móvel no solo.

O N, por sua vez, é o segundo nutriente mais requerido pelas hortaliças (FILGUEIRA, 2003). Segundo Filgueira (2008), a reposta de produção da cultura da batata-doce associada ao N é baixa e pode variar. A adubação nitrogenada deve ser criteriosa, principalmente se o solo for rico em matéria orgânica, pois ocasiona crescimento vegetativo exagerado, em detrimento da formação e do desenvolvimento das batatas que se apresentam com menor teor de açúcares. No entanto, a deficiência de N dificulta o desenvolvimento da planta, provocando a redução da fotossíntese, o amarelecimento e a queda das folhas basais (SILVA *et al.*, 2008). Monteiro e Peressin (1997) recomendam para o estado de São Paulo a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N no plantio e de 30 kg ha⁻¹ em cobertura, após 45 dias de plantio.

A batata-doce possui sistema radicular ramificado, sendo altamente eficiente na absorção de nutrientes, como o P, por exemplo. Porém, devido à deficiência desse nutriente em solos brasileiros, há a necessidade de se aplicar P prontamente disponível no plantio (EMBRAPA, 1995). As recomendações são de 80 100 kg.ha⁻¹ do mineral no plantio. A adubação fosfatada adequada é fundamental desde estágios iniciais de crescimento dos vegetais, e a fornecimento de dosagens adequadas de P permite o desenvolvimento radicular e o aumento da absorção de água e nutrientes (CAI *et al.*, 2013). O P é importante nos processos de respiração e divisão celular, bem como na produção de energia. O nutriente consegue ser prontamente mobilizado nas plantas, e em casos de carência nutricional, é translocado de tecidos mais antigos para as regiões meristemáticas ativas (HERMANS *et al.*, 2006).

Os macronutrientes como o Ca e o Mg são geralmente supridos por meio da calagem, quando necessário. Em relação aos micronutrientes, como o boro (B), esse tem como sua principal fonte a matéria orgânica (ABREU *et al.*, 2007). Dessa forma, solos com alto teor de matéria orgânica não precisam utilizar de adubação via fertilizantes para suprir esse micronutriente.

A batata-doce é um alimento de alto valor energético, possuindo cerca de 30% de matéria seca, a qual compreende em média 85% de carboidratos, cujo elemento principal é o amido (CARDOSO *et al.* 2007). A cada 100 gramas, a batata-doce fornece, em média, os seguintes teores de minerais: K (273 mg), P

(49 mg), Ca (30 mg), S (26 mg), Mg (24 mg), e Na (13 mg) (MIRANDA *et al.*, 1987; SILVA, 2002; SOARES *et al.*, 2002;).

Diferentes instituições ao redor mundo incentivam o consumo de raízes tuberosas de batata-doce por populações que manifestam histórico de doenças ligadas à desnutrição, principalmente em países emergentes (LEITE, 2017).

2.2 Biofortificação agrônômica

A biofortificação agrônômica é uma estratégia agrícola sustentável, que consiste no enriquecimento nutritivo de alimentos de maior consumo populacional. A prática da biofortificação agrônômica consiste no aumento da concentração de um ou mais micronutrientes, durante o cultivo, por meio da adubação via solo ou via foliar (GRAHAM *et al.*, 2007). O objetivo é que esses nutrientes sejam absorvidos e acumulados pelos vegetais, visando uma melhoria na alimentação e na saúde humana. A técnica de biofortificação consiste no pressuposto de que os níveis de minerais presentes nas culturas estão associados com a sua disponibilidade no meio (DURÁN *et al.*, 2013).

A biofortificação, é o foco do programa Harvest Plus do CGIAR (*Consultive Group on Internacional Agriculture Research*), um programa internacional responsável por organizar e incentivar as ações de biofortificação de alimentos no mundo (JONS e EYZAGUIRRE, 2007). O programa simboliza uma forte e importante forma de intervenção para elevar a ingestão de nutrientes essenciais por meio de culturas base, como arroz, abóbora, batata-doce, feijão, mandioca, milho e trigo (NUTTI, 2011).

No Brasil, em 2003, foi desenvolvido pela Embrapa o projeto “Biofortificação de Produtos Agrícolas para Nutrição Humana - HarvestPlus”, principal componente do *HarvestPlus Challenge Program* no Brasil. O intuito do projeto é contribuir para a redução da desnutrição nas esferas mais carentes das populações de países emergentes, de maneira viável, uma vez que as culturas alimentícias contempladas no programa já possuem ampla produção, aceitação e consumo no Brasil (NUTTI, 2011).

De acordo com Nutti (2011), o Brasil é o único país que gere trabalhos de melhoramento com oito culturas básicas, simultaneamente, sendo essas: abóbora, arroz, batata-doce, feijão, feijão-caupi, mandioca, milho e trigo, fazendo

com que a pesquisa e o desenvolvimento de alimentos biofortificados no Brasil se destaque e se diferencie dos demais países.

A biofortificação agronômica mostrou-se eficiente em trabalho realizado por Zhang *et al.* (2019), que testou na cultura da batata a aplicação foliar de duas fontes de selênio, e comprovou a eficiência para melhorar a concentração de Se total na batata. Diferentes formas de aplicação e fontes de Se foram avaliadas na biofortificação da cenoura, onde Oliveira *et al.* (2018) comprovaram aumento no teor de Se no vegetal.

Em diferente estudo, Smolén *et al.* (2018) averiguaram, após um ensaio de campo de três anos, que a biofortificação combinada com Se e iodo (I), na cultura da cenoura, é uma técnica viável. Todas as cultivares avaliadas acumularam ambos os elementos em um nível substancialmente mais alto do que as plantas controle, sem apresentar efeito adverso sobre outras características nutricionais da cultura.

Avaliando o Se no desempenho fisiológico e biofortificação agronômica da couve-flor, Dutra (2017) averiguou que o selenato proporcionou maior eficiência de absorção e translocação do Se na planta, propiciando altas concentrações do elemento no tecido vegetal.

As plantas estão no início de toda cadeia alimentar. Portanto, melhorando a absorção de minerais do solo e aumentando a sua translocação e biodisponibilidade nas partes comestíveis dos vegetais, é possível fornecer benefícios para a nutrição humana, e conseqüentemente animal (EL-RAMADY *et al.*, 2014).

2.3 Selênio nas plantas

O selênio (Se) é um oligoelemento essencial para a maioria das formas de vida. O elemento tem recebido destaque nos últimos anos, sendo fonte de estudos e pesquisas em diversos países, devido a sua importância na alimentação e a sua essencialidade no organismo humano (WHITE, 2016). Embora não tenha sido confirmado como um nutriente essencial em vegetais, há evidências crescentes de que o Se é um elemento benéfico para as plantas, como antioxidante e promotor do crescimento vegetal.

Diversos estudos demonstram que, em baixas concentrações, o Se exerce efeito benéfico sobre o crescimento das plantas e a tolerância a estresses ambientais (PILON-SMITS *et al.*, 2009; DIAO *et al.*, 2014; MALAGOLI *et al.*, 2015). Trabalhos recentes têm demonstrado que o fornecimento de Se às plantas promove múltiplos benefícios (NAWAZ *et al.*, 2015; SIEPRAWSKA *et al.*, 2015). Esses trabalhos sinalizam para uma maior influência do Se sobre o sistema antioxidante e os metabolismos do nitrogênio e de carboidratos (HAJIBOLAND e SADEGHZADE, 2014; NAWAZ *et al.*, 2015).

O selênio desempenha um papel vital como protetor contra diferentes estresses abióticos, resfriamento, submersão, seca e deficiência de nutrientes (HASANUZZAMAN e FUJITA, 2011; HUSSAIN *et al.*, 2016a, b, c; WANG *et al.*, 2016;; KHAN *et al.*, 2018). Os possíveis mecanismos envolvidos na tolerância ao estresse abiótico em plantas podem envolver: antagonismo (no caso de metais pesados), desintoxicação de compostos orgânicos deletérios, aminoácidos livres, sistema de defesa antioxidante aprimorado, proteção de membranas e biomoléculas importantes contra danos de estresse fisiológico e crescimento e produção de biomassa aprimorados por meio aumento da atividade fotossintética, conteúdo de clorofila e regulação da taxa de transpiração (FAHIM *et al.*, 2013; FENG *et al.*, 2013; YAO *et al.*, 2013; KHALIQ *et al.*, 2015; HUSSAIN *et al.*, 2016a, b, c; SHARMA *et al.*, 2017; KHAN *et al.*, 2018).

A mobilidade, biodisponibilidade e absorção de Se pelos vegetais são influenciadas por dois importantes fatores, o pH e a matéria orgânica do solo (PILON-SMITH e LEDUC, 2009). Pode-se inferir que, com a diminuição do pH, a absorção e adsorção das fontes de Se aumentam, levando à baixa mobilidade do mineral no solo, enquanto o aumento do pH aumenta sua mobilidade (EICH-GREATOREX *et al.*, 2007). A matéria orgânica, quando presente em alto teor, leva a menor mobilidade do Se. Contudo os mecanismos que regem interação a interação entre selênio e matéria orgânica no solo não são evidentes (BRUGGEMAN *et al.*, 2007).

O selênio existe como formas inorgânicas e orgânicas na natureza. As formas inorgânicas são o selenato (SeO_4^{2-}), selenito (SeO_3^{2-}), seleneto (Se^{2-}) e Se elementar. Já as principais formas orgânicas são selenocisteína (SeCys) e selenometionina (SeMet) (BODNAR *et al.*, 2012; WU *et al.*, 2015). As formas inorgânicas de sais de Se, selenato de sódio (Na_2SeO_4) e selenito de sódio

(Na_2SeO_3), são aquelas as quais as plantas possuem a capacidade de absorver do solo e convertê-las na forma orgânica de SeMet e SeCys, podendo ser incorporadas às proteínas (DANIELS, 1996). É importante ressaltar, contudo, que o limite entre benefício e toxicidade de Se nos vegetais pode ser modificado em função da fonte e concentração desse elemento.

O selenato de sódio[é a forma mais prevalente de Se biodisponível em solos agrícolas, sendo a forma mais móvel e solúvel, enquanto o selenito se faz mais presente em solos ácidos (MISSANA *et al.*, 2009; GUPTA e GUPTA, 2017). Ambas as formas de Se diferem em termos de mobilidade e absorção dentro da planta, e são metabolizadas para formar selenocompostos (LI *et al.*, 2008). Existem diferenças marcantes na absorção, translocação e metabolismo do Se, quando este é proveniente de fontes diferentes (LONGCHAMP *et al.*, 2015).

O selenato é absorvido pelas raízes por meio dos transportadores de sulfato (CABANNES *et al.*, 2011; GUPTA e GUPTA, 2017), enquanto o selenito é absorvido pelas raízes através de transportadores de fosfato (WINKEL *et al.*, 2015; WAN *et al.*, 2016). O selenato possui propriedades químicas semelhantes ao enxofre (S) (NAZ *et al.*, 2015; GOLOB *et al.*, 2016;), portanto ambos os elementos compartilham uma via metabólica em comum pelas plantas durante o processo de translocação (SORS *et al.*, 2005). Uma vez absorvido pelas raízes das plantas, o selenato é imediatamente translocado para a parte aérea através da via simplástica (WHITE *et al.*, 2004), sendo essa a forma dominante de Se conduzida pelo xilema (LI *et al.*, 2008).

O Se é transportado via xilema até os plastídios celulares das folhas, onde a ATP-sulfurilase (APS) inicia a assimilação do elemento com a transformação do selenato em adenosina fosforoselenato (APSe), que em seguida, sofre processo de redução a selenito pela ação da enzima adenosina fosforoselenato redutase (APR). Posteriormente, o selenito é transformado em seleneto pela atividade da sulfito redutase, e por fim, o selenito é convertido em SeCys pela ação da O-acetilserina (tiol)liase (OAS-TL). A SeCys é rapidamente sintetizada em outros compostos e proteínas. Diferente da SeCys, o processo de formação da SeMet ocorre no citosol, onde pode ser transformada em compostos voláteis de Se, ou proteínas. O selenito, ainda não se pode afirmar, mas acredita-se que esse seja absorvido pelas raízes através de transportadores de fosfato (WINKEL *et al.*, 2015; WAN *et al.*, 2016).

A alta concentração de sulfato no meio de crescimento antagoniza o Se e ocorre a absorção preferencial de sulfato sobre o selenato, enquanto a maior concentração de sulfato no tecido pode estimular a seletividade de Se pelos mesmos transportadores de S (WHITE *et al.*, 2004). O selenito, por outro lado, é assimilado em formas orgânicas (SeCys e SeMet) na raiz (WANG *et al.*, 2015; HUANG *et al.*, 2017).

Dessa forma, o selenato encontra-se como uma fonte preferida para ser usado em programas de biofortificação de Se. Os transportadores responsáveis pelo carregamento do selenato no xilema, entretanto, ainda são desconhecidos. É importante ressaltar, contudo, que o limite entre benefício e toxicidade de Se pode ser modificado em função da fonte e concentração desse elemento. Em um programa de biofortificação, as taxas de Se devem ser planejadas cuidadosamente, devido ao seu estreito limite entre benefício e toxicidade sobre o crescimento e a produção de plantas (SARWAR *et al.*, 2020).

2.4 Selênio na saúde humana

O selênio (Se) é um elemento traço essencial ao metabolismo humano, principalmente por atuar em importantes funções metabólicas (ÁVILA *et al.*, 2013; KAUR *et al.* 2014; SUPRIATIN *et al.*, 2015; MATOS *et al.*, 2017), desempenhando papel fundamental em importantes áreas da saúde, como no sistema imunológico, no metabolismo hormonal da tireoide, na infertilidade masculina, em neoplasias e em doenças cardiovasculares (PORRAS *et al.*, 2010; USLU *et al.*, 2010), além de também possuir propriedades antioxidantes (COMINETTI, 2011).

O Se atua como componente de diversas enzimas e proteínas (ÁVILA *et al.*, 2013; KAUR *et al.* 2014). A importância do selênio no organismo se dá por ele ser um componente das selenoproteínas, as quais apresentam importantes funções enzimáticas. Desta forma, o selênio acaba funcionando como um importante redutor, principalmente na neutralização dos radicais livres (SUNDE, 1997; (FAIRWEATHER-TAIT *et al.*, 2010). Em humanos, pelo menos 25 selenoproteínas desempenham papéis importantes em sistemas antioxidantes, de imunidade, fertilidade masculina, resistência a infecções virais e a prevenção de diferentes tipos de câncer (HARTHILL, 2011; RAYMAN, 2012, 2020; TAN *et al.* 2018; VALEA e GEORGESCU, 2018).

Em 1979, constatou-se que a suplementação de Se é capaz de prevenir o aparecimento da doença de Keshan, que afeta crianças que habitam locais de solos deficientes nesse mineral (KESHAN, 1979). Estudos mais recentes têm mostrado que a deficiência de Se pode contribuir para o declínio cognitivo em pessoas idosas, além de haver uma associação com o estresse oxidativo observado em pacientes com Alzheimer e diabetes tipo 2 (CARDOSO *et al.*, 2010; RAYMAN, 2012). No entanto, há uma faixa de segurança estreita entre os níveis de benefício e toxicidade. É recomendada a dose diária de 25–35 µg para adultos, dependendo da idade e do gênero (WHO, 2009).

É sugerido por Kipp *et al.* (2015) que a ingestão diária para mulheres e homens adultos seja de 60-70 µg. Essa recomendação está de acordo com valores recomendados pelas sociedades de nutrição da Alemanha, Áustria e Suíça. Segundo White (2016), a ingestão diária recomendada é de 55 µg para adultos. Em contrapartida, Almondes *et al.* (2010) sugerem que o uso de uma suplementação diária de 200 µg de Se pode diminuir o risco de câncer. Em 2014, o CCNFSDU (Comitê do Codex de Nutrição e Alimentos para Usos Dietéticos Especiais) concordou em estabelecer um novo valor de referência para o Se, em 60 µg dia⁻¹.

Segundo Combs (2001), existe uma grande variação na ingestão de Se entre diferentes países de diversos continentes. Estima-se que 15% da população mundial possua carência de Se e a principal causa é o baixo consumo desse nutriente (WHITE e BROADLEY, 2005). Considerando que o Se alimentar é basicamente derivado de alimentos, a deficiência de Se em humanos está relacionada ao consumo de alimentos com baixo teor de Se nas partes comestíveis (REIS *et al.*, 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em vasos com capacidade para 38 litros, em estufa agrícola com sistema de irrigação automatizado, localizada no Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT), pertencente à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Botucatu (SP – Brasil), sob coordenadas geográficas 22°50'51.6" S e 48°26'06.0" O, com altitude de 830 metros (Figura 1).

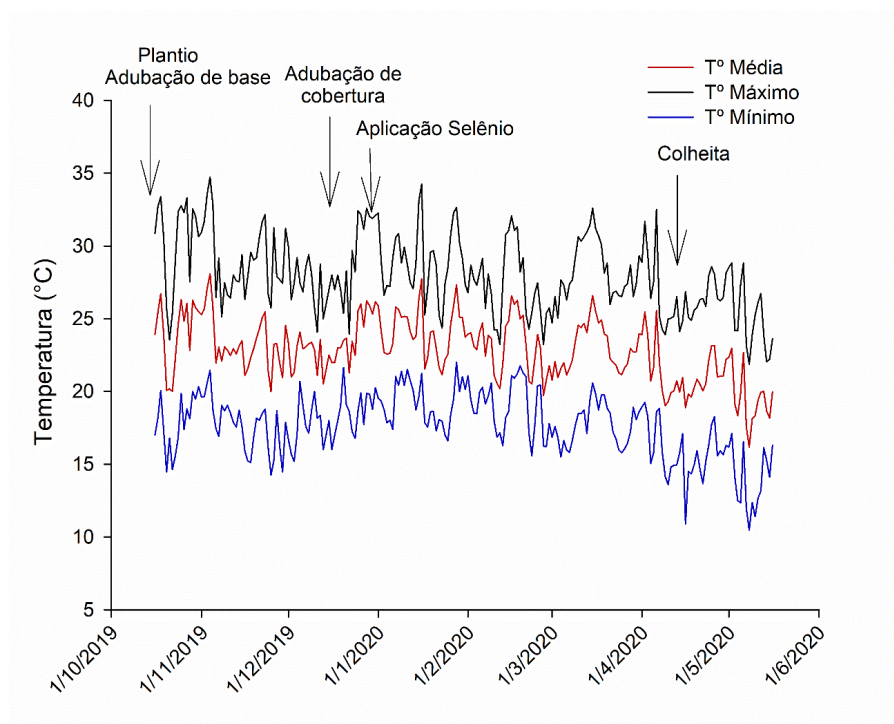
Figura 1 – Vasos de 38 litros preenchidos com solo adubado, pré-plantio das ramas de batata-doce, em estufa agrícola



3.2 Clima

A classificação climática da região, segundo Köppen, é temperado quente (mesotérmico) úmido, do tipo Cwa, com chuvas no verão e seca no inverno. Possui precipitação média anual de 1358,6 mm e temperatura média anual de 20,7° C (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI, 2016). Durante o período do experimento, foram registradas médias de temperatura máxima de 28,5° C, mínima de 18,20° C e média de 23,2° C, conforme dados da Estação Meteorológica da Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP. A temperatura média no interior da casa de vegetação também foi aferida diariamente, mediante termômetro digital, alcançando temperatura média de 44° C durante o período de condução do experimento (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Dados climáticos referentes as temperaturas de média, máxima e mínima, registradas no período de condução do experimento, na Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP, Botucatu



3.3 Solo

O solo utilizado para o experimento foi proveniente da Fazenda Experimental de São Manuel - UNESP, classificado como Neossolo Quartzarênico de textura arenosa (SANTOS *et al.*, 2006). Para a análise de caracterização química inicial do solo, foram coletadas amostras compostas na camada de 0 – 0,20 m de profundidade, seguindo os procedimentos descritos por Raji *et al.* (2001). Foi realizada análise de Se, de acordo com a metodologia USEPA3051 para extração, não sendo identificado o micronutriente no solo analisado (Quadro 1).

Quadro 1 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0 - 0,20 m, seguindo os procedimentos descritos por Raij et al. (2001)

Classe	Valores	Teores
pH	5,4	Médio
M.O (g.dm ⁻³)	7	-
P _{resina} (mg.dm ⁻³)	28	Médio
K (mmolc.dm ⁻³)	0,48	Muito baixo
Ca (mmolc.dm ⁻³)	22	Alto
Mg (mmolc.dm ⁻³)	6	Médio
Al ³⁺ (mmolc.dm ⁻³)	0	Muito baixo
H+Al ³⁺ (mmolc.dm ⁻³)	15	-
CTC	43	-
V%	66	Médio
Se (mg kg) ppb	0	-

M.O: matéria orgânica; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al³⁺: alumínio; H+Al³⁺: acidez total; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: saturação por bases; Se: selênio.

3.4 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, no esquema fatorial 2x5, com quatro repetições, perfazendo um total de 40 parcelas experimentais. Os fatores consistiram em duas fontes de selênio (selenato de sódio, Na₂SeO₄, e selenito de sódio, Na₂SeO₃), e cinco doses (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 mg dm⁻³), perfazendo um total de dez tratamentos.

Cada unidade experimental foi constituída de uma raiz tuberosa de batata-doce da cultivar Canadense. As ramas foram provenientes da Fazenda Experimental de São Manuel/UNESP, sanitizadas com produto acaricida-inseticida-nematicida de contato e ingestão, para o controle de pragas, e então plantadas nos respectivos vasos (Figura 2).

Figura 2 – Ramas de batata-doce plantadas em vasos de 38 litros em estufa agrícola



Foto: Yasmine Ohanna Toledo
Marzullo - 2020



Foto: Yasmine Ohanna Toledo
Marzullo - 2020

3.5 Caracterização da cultivar utilizada

A cultivar 'Canadense' é a cultivar destaque utilizada pelos produtores da principal região produtora do Estado de São Paulo, a cidade de Presidente Prudente (YONEYA, 2003; GOLLA *et al.*, 2010). A cultivar Canadense possui película externa rosada e polpa branca. O formato da raiz tuberosa é alongado, uniforme e apresenta boa aceitação comercial. O ciclo pode ser considerado médio ou longo, a depender das épocas de plantio. É considerado médio (150 a 180 dias) quando o plantio ocorre de setembro a fevereiro, e longo (180 a 220 dias) nas demais épocas do ano (GOLLA *et al.*, 2010).

3.6 Instalação e condução do experimento

A adubação de base e de cobertura seguiram recomendação, segundo os resultados da análise do solo e as exigências da cultura, de acordo com o Boletim Técnico 100 (LORENZI *et al.*, 1997). O adubo utilizado como fonte de fósforo foi o superfosfato triplo, na quantidade de 60 kg ha⁻¹, sendo incorporado ao solo em sua totalidade, na adubação de plantio. Para as fontes nitrogenada e potássica, foram utilizados como adubos a ureia e o cloreto de potássio, sendo incorporados ao solo na metade de suas quantidades totais, 10 kg ha⁻¹ e 60 kg ha⁻¹, respectivamente. Após 45 dias do plantio foi efetuada uma adubação de cobertura, com a metade restante do nitrogênio e do potássio, 10 kg ha⁻¹ e 60 kg ha⁻¹, de acordo com a recomendação do Boletim 100.

O Se foi aplicado via cobertura, aos 60 dias após o plantio, período caracterizado pela formação das raízes tuberosas. Os tratamentos foram devidamente pesados em eppendorf e diluídos em uma solução estoque com 500 mL de água. Dessa solução, mediu-se 125 mL em provetas graduadas e aplicou-se a mesma quantidade em cada vaso.

O experimento foi irrigado por meio de um sistema de irrigação automatizado por gotejamento, durante dois horários do dia, às 6 e às 16 horas, com vazão de 2, 65 l/h (Figura 3). Avaliações visuais diárias foram realizadas de modo a identificar possível fitotoxicidade e alterações fisiológicas ou morfológicas das estruturas das plantas. Após 60 dias do plantio, foi realizado o tutoramento das plantas, na forma de espaldeira com dossel vegetativo vertical (Figura 4). A colheita foi realizada aos 180 dias após o plantio. As raízes colhidas foram

imediatamente conduzidas para laboratório para análise dos parâmetros físico e preparo das amostras para posterior análises físico-químicas (Figura 5).

Figura 3 – Sistema de irrigação por gotejamento em estufa agrícola



Figuras 4 – Tutoramento da cultura da batata-doce



Figura 5 – Colheita da cultura da batata-doce biofortificada com Se



3.7 Avaliações

3.7.1 Análise de produção total das raízes de batata-doce

Para essas avaliações, todas as raízes tuberosas das plantas coletadas foram contadas e pesadas individualmente. A produtividade total foi obtida a partir do somatório de todas as raízes. Os resultados foram expressos em kg planta⁻¹.

3.7.2 Determinação do teste de textura das raízes de batata-doce

Após a colheita, as plantas foram devidamente lavadas a jato para remoção das sujidades. Em seguida, para determinação da textura da raiz, utilizou-se texturômetro com profundidade de penetração de 10 mm, velocidade de 2,0 mm s⁻¹ e ponteiro TA 9/100, sendo a força necessária para a penetração do ponteiro na batata-doce, expressa em Newton (N).

3.7.3 Determinação do teor de matéria seca das raízes de batata-doce

Para a obtenção do peso seco das raízes, as amostras foram fatiadas em fatiador de alimentos e submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem peso constante. Após a secagem, o material foi pesado para obtenção das quantidades de matéria seca (MS) acumuladas nas raízes tuberosas.

3.7.4 Composição centesimal das raízes de batata-doce

3.7.4.1 Determinação da umidade

O teor de umidade representa o teor de água contido em um alimento, e está relacionada a sua estabilidade e conservação. Para a determinação do teor de umidade, as amostras foram devidamente pesadas, utilizando três repetições de aproximadamente 3 g de amostra, e secas em estufa a 105 °C por 8 horas até a obtenção de massa constante. Após esse período foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador de vidro para posteriormente serem pesadas, obedecendo ao método AOAC (2005).

3.7.4.2 Determinação do teor de cinza

O teor de cinzas representa o resíduo inorgânico remanescente da queima da matéria orgânica, ou seja, os minerais presentes no alimento. Para a determinação do teor de cinzas as amostras foram submetidas à combustão em mufla a 550 °C durante o período de 120 minutos, até calcinação completa. Logo após, as amostras foram colocadas em dessecador de vidro e posteriormente pesadas, seguindo a metodologia da AOAC (2005). Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

3.7.4.3 Determinação do teor de fibra

O teor de fibra total foi determinado por hidrólise ácida (H₂SO₄ 1,25%), seguida de hidrólise alcalina (NaOH 1,25%). Foram utilizadas 3 g de cada amostra processadas em digestor de fibras, obedecendo à metodologia proposta por AACC (1999). Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

3.7.4.4 Determinação do teor de matéria graxa

Para determinação do teor de matéria graxa utilizou-se aproximadamente 3 g de cada amostra, as quais foram realizadas em extrator Soxhlet, utilizando éter de petróleo para a extração, conforme metodologia descrita por AOAC (2005). Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

3.7.4.5 Determinação do teor de proteína

Para determinar o teor de proteína bruta foram utilizadas, para cada tratamento, três repetições de aproximadamente 200 mg de amostra, as quais foram submetidas em bloco digestor de proteínas, seguidas de resfriamento em temperatura ambiente e destilação, utilizando o método de Kjeldahl, conforme AOAC (2005). O fator utilizado para conversão do teor de nitrogênio em proteína bruta foi de 6,25. Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

3.7.4.6 Determinação do teor de açúcares redutores

Para a determinação do teor de açúcares redutores foi utilizado o método espectrofotométrico Somogyi-Nelson, onde foi pesado aproximadamente 300 mg de cada amostra em erlenmeyer, acrescentando-se 50 mL de água destilada e imediatamente colocado em banho-maria com aquecimento entre 60-65 °C e leve agitação, durante 60 minutos. Em seguida, as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente, neutralizadas, diluídas e lidas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 535 nm. Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

3.7.4.7 Determinação do teor de açúcares totais

Para a determinação do teor de açúcares totais foi utilizado o método espectrofotométrico Somogyi-Nelson, onde foi pesado aproximadamente 300 mg de cada amostra em erlenmeyer, acrescentando-se 30 mL de álcool etílico e 30 mL de água destilada, e imediatamente colocado em banho-maria com aquecimento entre 60-65 °C e leve agitação, durante 60 minutos. Posteriormente, acrescentou-se 1 mL de HCl P.A (ácido clorídrico) concentrado, e as amostras retornaram ao banho-maria por mais 60 minutos. Em seguida, as amostras foram resfriadas à temperatura ambiente, neutralizadas, diluídas e lidas em espectrofotômetro no comprimento de onda de 535 nm. Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

3.7.4.8 Determinação do teor de amido

O teor de amido foi determinado pelo método de hidrólise enzimática, segundo metodologia ISO 6647 (1987). Foram transferidos 200 mg de amostra

para erlenmeyers de 125 mL, adicionaram-se 42 mL de água destilada, 1 mL de solução tampão acetato de sódio 2 mols.L⁻¹ em pH 5,35 e 100 µL solução comercial da enzima liquozyme (Supra 2.2 x, Novozymes). As amostras foram colocadas em banho-maria, com agitação, à temperatura de 90 °C durante 120 minutos. Em seguida, adicionou-se 100 µL da solução comercial da enzima amiloglicosidae (AMG 300L, Novozymes), voltando-as ao banho maria por mais 120 minutos, sob agitação constante a uma temperatura de 60 °C. Posteriormente, as soluções foram resfriadas em temperatura ambiente e transferidas para um balão volumétrico de 200 mL, onde foram diluídas até o menisco. Em seguida, as amostras foram filtradas, e uma alíquota de 5 mL foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, sendo novamente diluída, até o menisco. Após essas etapas, foi dosado no material filtrado o teor de açúcares redutores, seguindo a metodologia descrita por Nelson (1944) e adaptada por Somogyi (1945). Os resultados foram expressos na base úmida em g 100 g⁻¹.

3.7.5 Teor de macro e micronutrientes

As amostras secas e moídas de batata-doce foram submetidas à análise de acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), e enxofre (S), segundo metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997). Diante dos resultados foram estimadas as quantidades de nutrientes acumuladas nas raízes, multiplicando-se a quantidade de cada nutriente pela matéria seca da batata-doce.

3.7.5.1 Determinação dos teores de selênio nas plantas

As amostras foram digeridas em um sistema de digestão assistido por radiação micro-ondas equipado com tubos de politetrafluoretileno (PTFE) (modelo Mars Xpress, CEM, Estados Unidos). Utilizando uma balança analítica (modelo AY 220, Shimadzu, Kyoto, Japão), foram pesados aproximadamente 50 mg de cada amostra diretamente nos tubos de PTFE. Após a pesagem das amostras, foi adicionada uma mistura ácida contendo: 5,0 mL de HNO₃ (ácido nítrico), 5,0 mL de água deionizada e 2,0 mL de H₂O₂ (peróxido de hidrogênio) em cada tubo.

3.8 Análise Estatística

Os dados foram submetidos a teste de normalidade através do software estatístico “R”, e submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Utilizou-se o software SigmaPlot® para confecção dos gráficos. Posteriormente, aplicou-se o teste de correlação de Pearson e em seguida verificou-se a significância ($\alpha=5\%$), utilizando os pacotes “latticeExtra” e “Hmisc” no Programa R. Para melhor visualização foram elaborados “heatmaps” (mapas de calor) utilizando os pacotes “corrplot” e “RColorBrewer”, e em seguida aplicou o método “FPC” para agrupar as correlações positivas e negativas. A análise multivariada por PCA foi construída utilizando as variáveis significativas, onde primeiramente transformou-se os dados em “log”, afim de padroniza-las. Para isso, utilizou-se os pacotes “PCAtools”, “chemometrics”, “ellipse”.e “stats” no software R.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito da adubação com selênio sobre a produção de raízes de batata-doce

Para as análises de produção, não foi verificado efeito significativo entre as fontes, bem como não houve interação entre os fatores, obtendo uma média total de produção de 218,27 kg planta⁻¹, onde 111,42 kg planta⁻¹ são provenientes da fonte selenato, e 106,85 kg planta⁻¹ oriundos da fonte selenito (Tabela 1).

Na literatura, é possível encontrar análises de produção em cultivos de batata-doce realizados em condições de campo. Silva Nunes (2019), obteve valores de produtividade total de 0,5832 kg planta⁻¹ a 0,7817 kg planta⁻¹, entre diferentes cultivares e diferentes épocas de plantio. Santos Neto *et al.* (2017), por sua vez, analisando diferentes clones de batata-doce, encontrou valores de produtividade total de 378,88 kg planta⁻¹.

Esses significativos valores mais elevados podem ser explicados pelo espaço que as raízes tuberosas tiveram para se desenvolver. Quando plantadas em vaso, há uma menor profundidade de solo para que as mesmas possam explorar e se aprofundar, possivelmente se desenvolvendo menos do que as raízes cultivadas em condições de campo.

Tabela 1 - Produtividade total de de batata-doce biofortificadas com Se

Tratamentos	Produtividade total (kg planta ⁻¹)
Fontes (F)	
Selenato	111,42a
Selenito	106,85a
Total	218,27
Fontes x Doses	ns
CV (%)	3,4

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). ns: não significativo.

4.2 Efeito da adubação com selênio sobre a composição centesimal de raízes de batata-doce

Os teores de umidade, matéria seca e matéria graxa não apresentaram significância entre os tratamentos. As variáveis de cinzas, açúcar total, proteína, fibras, amido e açúcar redutor apresentaram diferença significativa entre as diferentes dosagens de selenato ($p < 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise de variância (ANOVA) para efeitos de tratamento nas diferentes variáveis de composições centesimal e dureza

Causa de variação	GL	SQ	QM	F	P
Cinzas	4	2,2391	0,5597	12,37**	0,0003
Açúcar total	4	6,0691	1,5192	23,98**	<0,0001
Proteína	4	0,4374	0,1093	4,18*	0,0240
Fibras	4	0,1884	0,0471	6,65**	0,0046
Amido	4	134,3772	33,5943	104,42**	<0,0001
Açúcar redutor	4	2,2606	0,6401	15,86**	<0,0001
Dureza	4	617980,3351	154495,08377	21,46**	<0,0001

Legenda: * ($p \leq 0,05$); ** ($p \leq 0,01$); ns: não significativo.

Para os teores de cinzas, verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3 - Comparação das médias de tratamentos para a variável de cinzas na batata-doce biofortificada com Se

Tratamento	Cinzas
4 (1,5 mg dm ⁻³)	3,2779a
2 (0,5 mg dm ⁻³)	3,1794a
1 (0 mg dm ⁻³)	2,8946a
3 (1,0 mg dm ⁻³)	2,8801a
5 (2,0 mg dm ⁻³)	2,3177b
DMS (5%) 0,4794	CV(%) 7,3092

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). ns: não significativo.

O tratamento 5, com a maior dose de selenato, foi o qual apresentou o menor teor de cinzas ($2,32 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$), distinguindo-se dos demais tratamentos, os quais não diferiram entre si. Numericamente, o maior valor obtido ($3,28 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) foi encontrado no tratamento 4, porém estatisticamente o único tratamento a se diferenciar significativamente dos demais foi o tratamento 5, com a maior dosagem de selenato.

Resultados semelhantes foram encontrados por Daron *et al.* (2017), onde estudando a caracterização físico-química da farinha de diferentes cultivares de batata-doce, encontraram os teores de $3,23 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ para a cultivar BRS Beauregard, $2,54 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ para a cultivar BRS Amélia, e $2,26 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ para a BRS Rubissol.

Avaliando clones de batata-doce, Andrade Júnior *et al.* (2012) encontraram teores de cinzas variando entre 2,3% a 3,7%. Leonel *et al.* (1998) identificaram que as raízes de batata doce apresentaram, em média, $3,42 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de cinzas, na variedade SRT 299.

Quando comparado com os resultados de Santos Neto *et al.* (2017), que considera aceitável o valor de $3,60 \pm 0,30\%$, os valores se encontram um pouco abaixo. Não é identificada, no entanto, a variedade de batata-doce utilizada no trabalho dos autores.

Para os teores de proteína, os tratamentos 4 e 5 foram aqueles que apresentaram as melhores respostas, com os maiores acúmulos de $2,11 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $2,09 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, assemelhando-se entre si (Tabela 4).

Tabela 4 - Comparação das médias de tratamentos para a variável de proteína na batata-doce biofortificada com Se

Tratamento	Proteína
4 ($1,5 \text{ mg dm}^{-3}$)	2,1169a
5 ($2,0 \text{ mg dm}^{-3}$)	2,0980a
1 (0 mg dm^{-3})	2,0688ab
2 ($0,5 \text{ mg dm}^{-3}$)	1,9492ab
3 ($1,0 \text{ mg dm}^{-3}$)	1,7185b
DMS (5%) 0,3647	CV(%) 8,1298

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). ns: não significativo.

Valores superiores foram obtidos por Daron *et al.* (2017), que quantificaram 3,72 g 100 g⁻¹ em cultivar BRS Amélia, e 5,07 g 100 g⁻¹ em BRS Rubissol. Leonel *et al.* (1998) também encontraram valor médio superior de 4,55 g 100g⁻¹ em variedade SRT 299.

Entretanto, em trabalho com batata inglesa, Ferri *et al.* (2007) verificaram valores similares para batatas convencionais e enriquecidas com selênio, 2,2% e 2,3% em base úmida, respectivamente.

Os teores proteicos são influenciados pelas condições climáticas, genéticas e nutricionais (DOURADO, 2018). Ocasionalmente as proteínas podem ser utilizadas como substrato para respiração celular, quando ocorre uma significativa deficiência de açúcares. Nesse caso, essas proteínas são primeiramente hidrolisadas produzindo aminoácidos, os quais serão então degradados em reações futuras.

O aumento da temperatura, em todos os vegetais, provoca redução da fluidez da membrana, afetando a conformação das proteínas de membrana, resultando na redução de sua atividade. A taxa de respiração aumenta exponencialmente com a temperatura. Quando a temperatura se aproxima de 50° C, ocorre a desnaturação térmica das enzimas respiratórias e danos sobre as membranas. Sabendo que enzimas são proteínas, e que a membrana plasmática é formada basicamente por lipídeos e proteínas, uma desnaturação térmica faz com que essas proteínas percam sua estrutura inicial, e conseqüentemente, sua estabilidade cai abruptamente para um valor mínimo. Se uma proteína perde sua estrutura, ela perde também sua função. Esse processo de desnaturação, devido as elevadas temperaturas dentro da casa de vegetação, pode ser o motivo pelo qual verifica-se um baixo teor de proteína nas amostras analisadas.

O Se é incorporado em uma classe de moléculas de selenoproteínas (ESTEVES *et al.*, 2012). Porém, a correlação entre os teores de Se e os teores de proteína em tecido vegetal ainda não é conhecida. Na saúde humana, entretanto, Moghadaszadeh e Beggs (2006) afirmam que alterar as quantidades de selênio em uma dieta pode acarretar na diminuição dos níveis de selenoproteína. Sabe-se que existe uma hierarquia de exigência de Se entre as selenoproteínas, portanto, a ingestão de Se possui efeitos singulares sobre os membros da família das selenoproteínas.

Para a variável fibras, os rendimentos máximos (2,11 g 100 g⁻¹ e 2,00 g 100 g⁻¹) foram encontrados nos tratamentos 4 e 1, ao passo que o teor mais baixo foi encontrado no tratamento 2 (Tabela 5).

Tabela 5 - Comparação das médias de tratamentos para a variável de fibras na batata-doce biofortificada com Se

Tratamento	Fibras
4 (1,5 mg dm ⁻³)	2,1150a
1 (0 mg dm ⁻³)	2,0087a
5 (2,0 mg dm ⁻³)	1,9621ab
3 (1,0 mg dm ⁻³)	1,9578ab
2 (0,5 mg dm ⁻³)	1,8138b
DMS (5%) 0,1898	CV(%) 4,2705

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). *ns*: não significativo.

Resultados semelhantes foram obtidos por Chen (2003), onde avaliando a composição química de três variedades chinesas de batata-doce, observaram níveis de fibras de 1,9 g 100 g⁻¹ a 4,4 g 100 g⁻¹, dependendo da variedade analisada.

Avaliando o teor médio de fibras em detergente ácido, Silva (2010) encontrou valores médios de 1,91 g na matéria seca da farinha de batata-doce para a cultivar Brazlândia Branca, e 1,88 g para a cultivar Brazlândia Rosa, assemelhando-se aos teores encontrados no presente trabalho.

Já para a variável de amido, o máximo acúmulo (91,62 g 100 g⁻¹) foi observado no tratamento 2, equivalente a dose de 0,5 mg dm⁻³, o qual se destacou dentre os outros tratamentos, enquanto o menor teor foi observado nos tratamentos 3 e 4, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6 - Comparação das médias de tratamentos para a variável de amido na batata-doce biofortificada com Se

Tratamento	Amido
2 (0,5 mg dm ⁻³)	91,6172a
5 (2,0 mg dm ⁻³)	86,4856b
1 (0 mg dm ⁻³)	85,7795bc
3 (1,0 mg dm ⁻³)	84,7936cd
4 (1,5 mg dm ⁻³)	84,4839d
DMS (5%) 1,2784	CV(%) 0,6547

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). *ns*: não significativo.

Resultados parcialmente inferiores foram obtidos por Chen (2003) em estudo com diferentes variedades chinesas de batata-doce, onde identificou teores de amido entre 57,8 g 100 g⁻¹ e 75,9 g.100g⁻¹. Leonel e Cereda (2002), caracterizando a farinha de batata-doce, encontraram valor médio de 76,37 g 100 g⁻¹ para amido. Kourouma (2020) observou valores que variaram de 51,88 g 100 g⁻¹ a 69,21 g 100 g⁻¹, em 20 diferentes cultivares de batata-doce. Os resultados encontrados no presente trabalho, entretanto, apresentam-se mais elevados.

É possível perceber uma grande variação em relação ao teor de amido nas raízes da batata-doce. Essa variação pode ocorrer devido a diferença de variedades e cultivares, bem como em função da adubação, entre outros aspectos.

O maior teor de amido da amostra enriquecida com selênio sugere que o Se adicionado estimula a produção de amido, conforme relatado anteriormente por outros autores (PENNANEN e HARTIKAINEN 2002). Em trabalho realizado por Turakainen *et al.* (2004), trabalhando com diferentes dosagens de selenato de sódio em batata, via foliar, foi identificado o maior acúmulo de amido nas folhas superiores, podendo indicar um aumento da síntese de amido. Segundo o autor, estudos anteriores mostraram uma associação entre o Se e o acúmulo de grânulos de amido nos cloroplastos de plantas jovens de alface.

Os maiores teores de açúcar redutor foram encontrados nos tratamentos 3 e 5, equivalentes a 2,97 g 100 g⁻¹ e 2,91 g 100 g⁻¹, não diferindo entre si, porém distinguindo-se dos demais tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7 - Comparação das médias de tratamentos para a variável de açúcar redutor na batata-doce biofortificada com Se

Tratamento	Açúcar redutor
3 (1,0 mg dm ⁻³)	2,9675a
5 (2,0 mg dm ⁻³)	2,9131a
1 (0 mg dm ⁻³)	2,2909b
4 (1,5 mg dm ⁻³)	2,2504b
2 (0,5 mg dm ⁻³)	2,1189b
DMS (5%) 0,4528	CV(%) 8,0097

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). ns: não significativo.

Os resultados assemelham-se aqueles encontrados por Corrêa *et al.* (2016) que avaliaram a qualidade de raízes de batata-doce em função das cultivares e

do armazenamento, e encontraram um teor de $3,2 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de açúcar redutor em cultivar canadense, após 0 dias de armazenamento.

Resultados distintos, no entanto, foram encontrados por Leonel e Cereda (2002), que avaliando a caracterização físico-química de algumas culturas amiláceas, onde encontraram teor médio de $5,74 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de açúcar redutor em batata-doce. Avaliando vinte diferentes cultivares chinesas de batata-doce, Kourouma (2020) observou valores variando entre $1,72 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ e $9,78 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$.

Fatores como o clima e a disponibilidade de água influenciam decisivamente na taxa fotossintética e desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, na produção de açúcar. Há uma relação inversa entre a capacidade fotossintética (atividade fotossintética máxima em luz saturante) e a temperatura de crescimento. Em faixas de temperatura superior a 35° C , ocorre uma diminuição da taxa de fotossintética. Com a inibição das taxas fotossintéticas, ocorre a diminuição da razão entre as concentrações de gás carbônico e oxigênio no interior da célula, conseqüentemente aumento a fotorrespiração, uma vez que ocorre uma diminuição na eficiência catalítica da enzima Rubisco para realização da fotossíntese (DOS SANTOS, 2005).

Havendo uma temperatura média de 44° C no interior da casa de vegetação, e sabendo-se que a produção de açúcar se dá a partir da fotossíntese, uma baixa taxa de atividade da mesma pode acarretar em uma menor produção de glicose, um dos principais açúcares redutor, e produto da fotossíntese. Para além, o que também pode ter ocorrido, é o acúmulo de água pelos vegetais, diluindo o teor de açúcares presente no tecido.

Em relação ao teor de açúcar total, o tratamento 3 foi aquele que apresentou máximo teor, com $5,33 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, assemelhando-se ao resultado encontrado para o açúcar redutor. Enquanto os menores acúmulos desta variável ($3,99 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e $3,81 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) foram observados nos tratamentos 1 e 5, ou seja, aqueles com nenhuma e máxima dose da fonte aplicada (Tabela 8).

Tabela 8 - Comparação das médias de tratamentos para a variável de açúcar total na batata-doce biofortificada com Se

Tratamento	Açúcar total
3 (1,0 mg dm ⁻³)	5,3381a
4 (1,5 mg dm ⁻³)	4,6024b
2 (0,5 mg dm ⁻³)	4,1038bc
1 (0 mg dm ⁻³)	3,9928c
5 (2,0 mg dm ⁻³)	3,8107c
DMS (5%) 0,5670	CV(%) 5,7571

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). *ns*: não significativo.

Observando o efeito de diferentes fontes de selênio em parâmetros fisiológicos de pêssego selvagem Sun *et al.* (2020) concluíram que o selênio não aumentou o conteúdo de açúcares redutores e diminuiu o conteúdo de açúcares totais. A concentração total de açúcar total foi significativamente reduzida em 38,01% no grupo selenato. Os autores ainda constataram que a parte aérea se apresentava menor quando os níveis de açúcar eram mais elevados, o que indica que um menor crescimento (alongamento celular) leva a maiores concentrações mais altas de todos os solutos.

Em solo com baixo teor de K, resultados similares foram encontrados por Figueiredo (2019), que observou teores de açúcar total variando entre 3,08 a 3,57% na cultura da batata-doce.

Resultados semelhantes foram encontrados por Pushpalatha *et al.* (2017), onde verificando diferentes níveis de N em batata-doce, encontrou-se teores de açúcar total variando de 4,74% a 6,85%.

Os baixos teores de açúcar total podem ser explicados por Filgueira (2008), que ressalta que a aplicação de N em solos ricos em matéria orgânica pode causar crescimento vegetativo excessivo em função da formação e do desenvolvimento das batatas, que se apresentam com menor teor de açúcares; o que pode ser explicado pelo alto teor de matéria orgânica presente no solo utilizado.

4.3 Efeito da adubação com selênio na dureza das raízes de batata-doce

Para a dureza, verificou-se diferença significativa entre os tratamentos, onde o tratamento 3 obteve a melhor resposta para essa variável (3288 N),

enquanto o tratamento 1, sem aplicação de Se, apresentou o menor valor (2806 N) dentre as diferentes doses (Tabela 9).

Tabela 9 - Comparação das médias de tratamentos para a variável de dureza na batata-doce biofortificada com Se

Tratamento	Dureza
3 (1,0 mg dm ⁻³)	3288,6892a
4 (1,5 mg dm ⁻³)	3281,8280ab
2 (0,5 mg dm ⁻³)	3141,4831ab
5 (2,0 mg dm ⁻³)	3091,2703b
1 (0 mg dm ⁻³)	2806,0238c
DMS (5%) 191,2283	CV(%) 2,7177

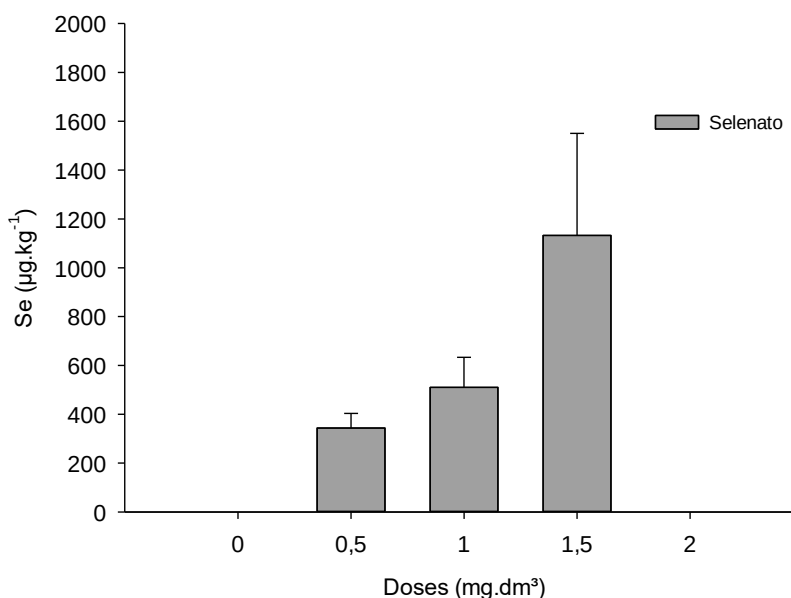
Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). *ns*: não significativo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Sanchez *et al.* (2020), que observaram dureza média de 4874,78 g para a batata-doce em 0 dias de armazenamento, havendo diminuição de valor conforme o aumento do tempo de armazenamento/o intervalo de tempo de armazenamento.

Estudos demonstraram que o Se em baixas doses protege as plantas de diversos estresses abióticos, como frio (CHU *et al.*, 2010), seca (HASANUZZAMAN e FUJITA, 2011), dessecação (PUKACKA *et al.*, 2011) e estresse por metal pesado (KUMAR *et al.*, 2012; PANDEY e GUPTA, 2015). É possível que o selenato tenha prolongado a vida de prateleira da batata-doce em função do seu potencial antioxidativo (GUPTA e GUPTA, 2017).

4.4 Efeito da adubação com selênio sobre os minerais na batata-doce

Para o acúmulo de Se, esses foram identificados apenas quando utilizado a fonte selenato. Não foram quantificados teores de selenito. Dentre as diferentes dosagens de selenato, aquela que apresentou maior acúmulo nos vegetais foi o tratamento 4 (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Acúmulo de Se em raízes de batata-doce biofortificada com Se

Em trabalho com a biofortificação da cultura da batata, Zhang *et al.* (2019) identificou que a concentração de Se em tubérculos de batata atingiu 1,50 mg kg⁻¹, em peso seco, via aplicação foliar. Sendo esse valor 23 vezes maior do que a concentração de Se presente na testemunha. Os autores verificaram que as concentrações de selenato via foliar, em diferentes partes de tubérculos de batata tratada, foram maiores do que as concentrações com selenito, no mesmo estágio de crescimento. Isso sugere que, em comparação com o selenito, as folhas absorvem o selenato mais facilmente e o conduzem pelo floema.

Oliveira (2018) estudando a biofortificação com selênio na cultura da cenoura, verificou acúmulo de Se na parte aérea e aumento no conteúdo de Se em brotos e raízes. Nas raízes, a concentração de Se foi maior quando aplicado o selenato como fonte, seja via solo ou via foliar. Este padrão foi encontrado para espécies como trigo, cenoura, arroz, repolho e tomate (LI *et al.*, 2008; KÁPOLNA *et al.*, 2009; BOLDRIN *et al.*, 2013; ÁVILA *et al.*, 2014; ZHU *et al.*, 2016).

Nasser (2015) encontrou teores de 2,305 mg kg⁻¹ a 10,553 mg kg⁻¹, com valor médio de 5,113 mg kg⁻¹ de Se, em tubérculos de batata biofortificados.

Estudos realizados em condições de campo e de estufa demonstraram a maior eficiência de selenato para biofortificação de Se, quando comparado ao selenito (CARTES *et al.*, 2005; BOLDRIN *et al.*, 2013). Esse resultado também foi encontrado em cultivo hidropônico realizado por Ramos *et al.*, 2010).

Culturas têm capacidades muito diferentes para a absorção de selenato e selenito. Diversos estudos têm exposto que a aplicação foliar de selenato levou a maiores concentrações de Se nas plantas, em comparação ao selenito (CHEN, 2003; KÁPOLNA *et al.*, 2009).

Diferentes estudos apontam o selenato como a forma de Se mais móvel e solúvel (SORS *et al.*, 2005; MISSANA *et al.*, 2009; GUPTA e GUPTA, 2017). A maior facilidade do selenato em ser translocado nos vasos condutores, e sua menor toxidez, justifica sua utilização para a biofortificação em detrimento ao selenito (KAUR *et al.*, 2014).

Existem diferenças na absorção, translocação e metabolismo do Se, quando este é originário de fontes distintas (LONGCHAMP *et al.*, 2015). O selenato é absorvido pelas raízes através dos transportadores de sulfato (CABANNES *et al.*, 2011; GUPTA e GUPTA, 2017), enquanto o selenito é absorvido pelas raízes através de transportadores de fosfato (P) (WINKEL *et al.*, 2015; WAN *et al.*, 2016).

Por se assimilar quimicamente ao S (NAZ *et al.*, 2015; GOLOB *et al.*, 2016) e partilharem de uma via metabólica em comum durante a translocação, é possível que ocorra uma competição entre estes dois nutrientes, podendo ocasionar em uma redução no teor de um destes (SORS *et al.*, 2005), o que pode explicar a não identificação de selenato posterior a dosagem de 1,5 mg dm⁻³.

Uma vez que a fonte selenito não foi identificada/quantificada nas raízes de batata-doce, prosseguiu-se com as análises estatísticas apenas para os tratamentos com a fonte selenato. Na análise dos macronutrientes notou-se que os minerais N, K, Ca, Mg e S não apresentaram significância entre os tratamentos, onde apenas o P se mostrou significativo (Tabela 10).

Tabela 10 - Análise de variância (ANOVA) para efeitos de tratamento nos diferentes minerais

Causa de variação	GL	SQ	QM	F	P
N	4	0,0225	0,0056	2,44 ns	0,1038
P	4	0,4634	0,1158	7,63**	0,0027
K	4	20,3563	5,0890	0,90 ns	0,4955
S	4	0,0404	0,0101	2,54 ns	0,0949
Ca	4	0,8033	0,2008	1,63 ns	0,2309
Mg	4	0,1476	0,0369	2,31 ns	0,1179
Se	4	3488038,1904	872009,5476	26,61**	<0,0001

Legenda: * ($p \leq 0,05$); ** ($p \leq 0,01$); ns : não significativo.

O P apresentou significância entre as diferentes dosagens de selenato, onde o tratamento 2, foi o qual apresentou um menor teor do nutriente (1,28 g 100 g⁻¹) (Tabela 11).

Tabela 11 - Comparação das médias de tratamentos para o mineral P na batata-doce biofortificada com Se

Tratamento	P
5 (2,0 mg dm ⁻³)	1,7184a
1 (0 mg dm ⁻³)	1,6496a
3 (1,0 mg dm ⁻³)	1,6371a
4 (1,5 mg dm ⁻³)	1,5679a
2 (0,5 mg dm ⁻³)	1,2819b
DMS (5%) 0,2777	CV(%) 7,8432

Valores seguidos por letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, são significativamente diferentes (DMS, $p < 0.05$). *ns*: não significativo.

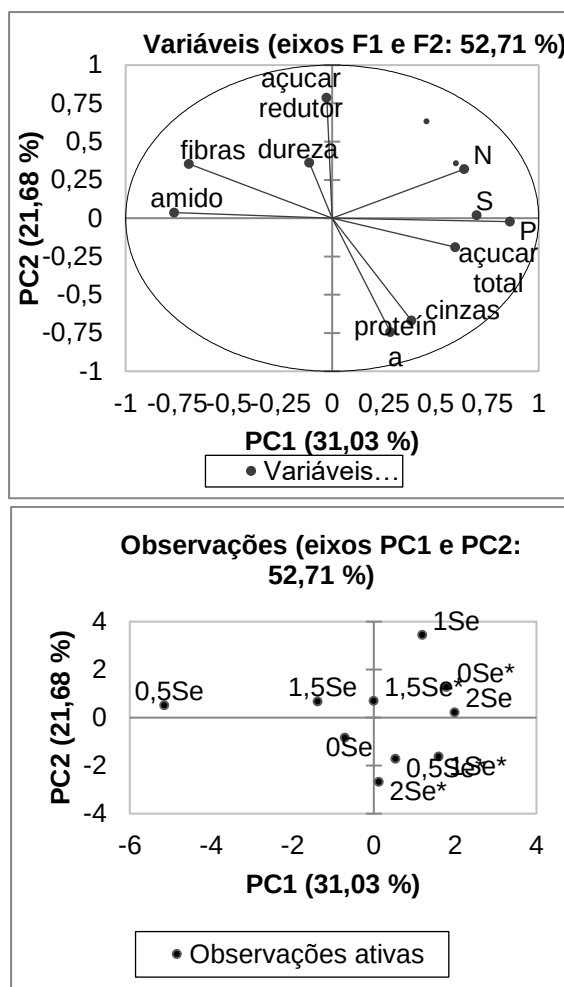
Corroboraram os resultados de Silva Nunes (2019), que avaliando acúmulo de P em diferentes épocas de cultivo, averiguou níveis médios de 1,08 g dm⁻³ em cultivar Canadense no primeiro ano de cultivo, e 1,25 g dm⁻³ no segundo ano.

Nas plantas, os fosfatos e íons de selenito são transportados pelos mesmos transportadores de proteínas; portanto, ocorre o fenômeno de antagonismo entre a absorção desses dois íons (WINKEL *et al.*, 2015), podendo-se assim explicar porque não houve efeito significativo na fonte de selenito, pois o mesmo pode ter sido inibido pelo fósforo (SMOLEN *et al.*, 2018).

4.5 Análise de componentes principais (PCA)

Para a análise de componentes principais, os primeiros dois componentes principais (PC1 e PC2) da análise multivariada explicaram 52,71% da variabilidade total nos dados (Gráfico 3). Os eixos mostram variações capazes de distinguir os grupos em dois, separando-os entre as variáveis que se assemelham ao eixo horizontal positivo PC 1 (proteínas, cinzas, açúcar total, P, S e N), e aquelas que se assemelham ao eixo vertical positivo PC 2 (amido, fibras, dureza, açúcar redutor).

Gráfico 3 - Análise de componentes principais (PCA) para análises significativas de composição centesimal e mineral



O PC1 do biplot revelou que os teores de cinzas e os teores de proteína foram positivamente associados entre si, enquanto o PC2 revelou que o conteúdo de S e o conteúdo de P possuem forte relação positiva entre si. Em contrapartida, em direção oposta ao plano determinado pelos dois PC, os acúmulo de S e P foram associados negativamente ao amido. Da mesma forma, cinzas e proteínas foram correlacionados negativamente com o teor de dureza.

A dureza é uma propriedade física do vegetal, muito usada na avaliação da textura e sendo muitas vezes essencial na qualidade do produto. As fibras, por sua vez, se encontram paredes celulares dos alimentos de origem vegetal, e são responsáveis pela textura e firmeza de cereais, grãos e hortaliças. As fibras insolúveis dão a textura firme das hortaliças, podendo-se inferir que, quanto maior for o seu teor, maior também será a dureza do alimento.

Outras variáveis que se encontram no mesmo quadrante/grupo são o amido

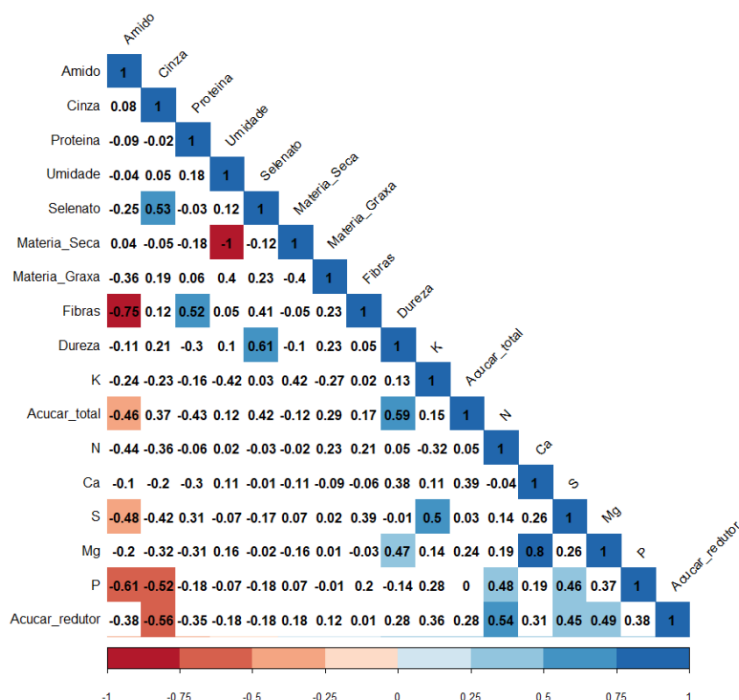
e o açúcar redutor, que possuem relação simbólica, uma vez que a síntese de amido é consequência do excesso do açúcar redutor glicose como produto da fotossíntese.

De acordo com o Gráfico 3, os teores de açúcar total e açúcar redutor variam em sentido quase inverso. No entanto, são necessários estudos que investiguem a influência do Se sobre os açúcares redutores em batata-doce.

4.6 Mapa de calor “heatmap”

O mapa de calor “heatmap”, apresentado na figura 4, é uma representação gráfica da correlação de Pearson. Para visualizar as associações entre as variáveis, utilizou-se um mapa de calor “heatmap”, baseado nos coeficientes de correlação de Pearson entre a fonte de selênio e as variáveis de composição centesimal (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Mapa de calor (heatmap) para todas as análises de composição centesimal e mineral



As variáveis cinzas e selenato apresentaram forte associação positiva entre si. O teor de cinzas em alimentos refere-se ao resíduo mineral mantido naquele alimento, após a queima da matéria orgânica. O mineral selenato, que foi incrementado na cultura via biofortificação agrônômica, contribuiu para o aumento desse resíduo mineral aumento, exercendo influência sobre o o teor de cinzas.

O selenato também apresentou forte associação positiva com o teor de dureza. Gpta e gupta (2017) relatam que o selênio possui efeito antioxidativo, o exercendo sobre a planta. Dessa maneira, é possível correlacionar o teor de selenato com o aumento da vida de prateleira da batata-doce, uma vez que a estrutura interna do vegetal consegue se manter oxigenada por mais tempo, garantindo assim uma menor ruptura do material.

As variáveis matéria seca e umidade apresentaram forte correlação negativa. A matéria seca representa a fração do alimento onde se encontra todos os nutrientes, enquanto a umidade se refere ao teor de água contido em determinado alimento. Dessa forma, quanto maior for o teor de nutrientes, menor será o teor de água na amostra.

Outra forte associação negativa se encontra entre as variáveis fibras e amido. As fibras são polissacarídeos não amiláceos, ou seja, polissacarídeos que não

contêm amido em sua composição (BRITO, 2008), fator pode explicar a associação negativa entre as duas variáveis, onde quanto maior for o teor de fibras, menor será o teor de amido.

5 CONCLUSÕES

A biofortificação com Se foi eficaz, utilizando a fonte selenato, proporcionando um maior acúmulo do nutriente na planta.

O selênio é capaz de aumentar os teores de amido em raízes tuberosas de batata-doce.

A dosagem de 0,5 mg dm³ de selenato, em um kilograma de batata-doce, foi capaz de promover quase cinco vezes mais do que a recomendação de ingestão diária de Se, de acordo com valores de referência do Codex Alimentarius Comission.

A ingestão de 172 gramas de batata-doce, diariamente, são o suficiente para suprir a necessidade de selênio.

REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of Analysis**. 11th ed. St. Paul:, 1999.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International**. 18th ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.

ABREU, C. A., LOPES, A. S., SANTOS, G. MICRONUTRIENTES. *In*: NOVAIS, R.F, ALVAREZ, V.V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B., NEVES, J.C.L. **Fertilidade Do Solo**, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

ALFTHAN, G.; EUROLA, M.; EKHOLM, P.; VENÄLÄINEN, E-R., ROOT, T.; KORKALAINEN. K.; HARTIKAINEN, H.; SALMINEN, P.; HIETANIEMI, V.; ASPILA, P.; ARO, A.; FOR THE SELENIUM WORKING GROUP. Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland. From deficiency to optimal selenium status of the population. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 31, p. 142–147, 2015.

ALMONDES, K. G. S.; LEAL, G. V. S.; COZZOLINO, S. M. F.; PHILIPPI, S. T.; RONDÓ, P. H. C. O papel das selenoproteínas no câncer. **Revista Associação Médica Brasileira**, v. 56, n. 4, p. 484-488, 2010.

ANDRADE JÚNIOR, V. C. de.; VIANA, D. J. S.; PINTO, N. A.; RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, R. C.;, NEIVA, I. P.; AZEVEDO, A. M.; ANDRADE, P. C. DE R. Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 584-589, 2012.

ÁVILA, F. W.; FAQUIN, V.; YANG, Y.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L. R. G.; THANNHAUSER, T. W.; LI, L. 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, n. 26, p. 6216–6223, 2013.

ÁVILA, F. W.; YANG, Y.; FAQUIN, V.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L. R. G.; THANNHAUSER, T. W. Impact of selenium supply on Semethylselenocysteine and glucosinolate accumulation in selenium-biofortified Brassica sprouts. **Food Chemistry**, v. 165, n. 1, p. 578-586, 2014.

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

BOLDRIN, P. F.; FAQUIN, V.; RAMOS, S. J.; BOLDRIN, K. V. F.; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, L. R. G. Soil and foliar application of selenium in rice biofortification. **Journal of Food Composition and Analysis**, v, 31, n. 1, p. 238-244, 2013.

BRITO, M. S.; OLIVEIRA, C. F. S.; SILVA, T. R. G.; LIMA, R. B.; MORAIS, S. N.; SILVA, J. H. V. Polissacarídeos não amiláceos na nutrição de monogástricos - resenha. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.2, n.4, p.111-117, 2008.

BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J.; BRYSON, R. J.; MEACHAM, M. C.; BOWEN, H. C.; JOHNSON, S. E.; HAWKESFORD, M. J.; MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. J.; BREWARD, N.; HARRIMAN, M.; TUCKER, M. Biofortification of UK food crops with selenium. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 65, n. 2, p. 169– 181, 2006.

BRUGGEMAN, C.; MAES, A.; VANCLUYSEN, J. The interaction of dissolved boom clay and gorleben humic substances with selenium oxyanions (selenite and selenate). **Applied Geochemistry**, v. 22, p. 1371–1379, 2007.

CABANNES, E.; BUCHNER, P.; BROADLEY, M. R.; HAWKESFORD, M. J. A comparison of sulfate and selenium accumulation in relation to the expression of sulfate transporter genes in Astragalus species. **Plant Physiology**, v. 157, p. 2227–2239, 2011.

CAI, H.; XIE, W.; LIAN, X. Comparative analysis of differentially expressed genes in rice under nitrogen and phosphorus starvation stress conditions. **Plant Molecular Biology**, v. 31, p. 160-173. 2013.

CARDOSO, A. D.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; NETO, H. B.; NETO, H. B.; KHOURI, C. R.; MELO, T. L. Características físicas de sensoriais de clones de batata doce. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1760-1765, 2007.

CARDOSO, B. R. et al. Nutritional status of selenium in Alzheimer's disease patients. **The British Journal of Nutrition**, v. 103, n. 6, p. 803–806, 2010.

ARDOSO, B. R. et al. Selenium, selenoproteins and neurodegenerative diseases. **Metallomics**, v. 7, n. 8, p. 1213-1228, 2015.

CARTES, P.; GIANFERA, L.; MORA, M. L. Uptake of selenium and its antioxidative activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. **Plant and Soil**, **The Hague**, v. 276, n. 1-2, p. 359-367, 2005.

CENTRO DE PESQUISA METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS DE CAMPINAS – CEPAGRI/UNICAMP. Clima dos municípios paulistas. Disponível em <https://www.cpa.unicamp.br/> . Acesso em: 20 ago 2020.

CHEN, Z. **Physicochemical properties of sweet potato starches and their application in noodle products**. Tese (Doutorado em Agrotecnologia e Ciências Alimentares), Wageningen University, Wageningen, 2003.

CHU, J.; YAO, X.; ZHANG Z. Responses of wheat seedlings to exogenous selenium supply under cold stress. **Biological Trace Element Research**, v. 136, p. 355–363, 2010.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. **Report of the thirty-sixth session of the codex committee on nutrition and foods for special dietary uses (CCNFSDU):** REP 15/NFSDU. Bali, 2014. Disponível em: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-720-36%252FREP15_NFSDUe.pdf. Acesso em: 20 dez. 2020.

COMBS, G. F. Food system-based approaches to improving micronutrient nutrition: The case for selenium. **Biofactors**, v. 12, n. 1-4, p. 39-43, 2000.

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

COMINETTI, C.; BORTOLI, M. C. de; PURGATTO, E.; ONG, T. P.; MORENO, F. S.; GARRIDO JR, A. B.; COZZOLINO, S. M. F. Associations between glutathione peroxidase-1 Pro198leu polymorphism, selenium status, and dna damage levels in obese women after consumption of Brazil nuts. **Nutrition**, v.27, n. 9, p. 891-896, 2011.

CORRÊA, C. V.; GOUVEIA, A. M. S.; MORENO, L. A.; TAVARES, A. E. B.; EVANGELISTA, R. M.; CARDOSO, A. I. Conservação de raízes de batata-doce em função da adubação potássica. *In*: WORKSHOP SOBRE TECNOLOGIAS EM AGROINDÚSTRIAS DE TUBEROSAS TROPICAIS, 10., 2014, Botucatu. **Anais [...]** Botucatu: CERAT/UNESP, 2014.

CORRÊA, C. V.; GOUVEIA, A. M DE. S.; EVANGELISTA, R. M.; CARDOSO, A. I. I. Qualidade de raízes de batata-doce em função das cultivares e do armazenamento. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 12, n. 1, p. 26-35, 2016.

CORRÊA, C. V. **Produção e qualidade de batata-doce em função das doses e parcelamento da adubação potássica.** Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W.; SOUZA, E. C. A. Adubos e corretivos: aspectos particulares na olericultura. *In*: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DE HORTALIÇAS, 1990, Jaboticabal. **Anais [...]** Piracicaba: Potafos, 1993. p. 85-132.

DANIELS, L. A. Selenium metabolism and bioavailability. **Biological Trace Element Research**, v. 54, n. 3, p. 185-199, 1996.

DARON, T. C.; DOLL HOJO, E. T.; SILVA, S. Z. Caracterização físico química da farinha biofortificada de diferentes cultivares de batata-doce em Cascavel, Paraná. **Revista Cultivando o Saber. Edição Especial**, p. 11-20, 2017.

DAVIS, C. D.; TSUJI, P. A.; MILNER, J. A. Selenoproteins and cancer prevention. **Annual review of nutrition**, v. 32, p. 73-95, 2012.

DIAO, M.; MA, L.; WANG, J.; CUI, J.; FU, A.; LIU, H. Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 33, n. 3, p. 671–682, 2014.

DOS SANTOS, D. M. M. **Material da disciplina de Fisiologia Vegetal**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/biologia/DURVALINAMARIAM.DOSSANTOS/TEXTO-24-Estomatos%202005>. Acesso em: 18 jul. 2020.

DURÁN, P.; SOBARZO, J. A.; JORQUERA, M.; AZCÓN, R.; BORIE, F.; CORNEJO, P.; MORA, M. L. Enhanced selenium content in wheat grain by co-inoculation of seleno bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi: a preliminary study as a potential Se biofortification. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 275-280, 2013.

DUTRA, A. F. **Selênio no desempenho fisiológico e biofortificação agrônômica da couve-flor**. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciência do Solo), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.

ECHER, F. R.; DOMINATO, J. C.; CRESTE, J. E. Absorção de nutrientes e distribuição da massa fresca e seca entre órgãos de batata-doce. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 176-182, 2009.

EICH-GREATOREX, S.; SOGN, T. A.; FALK ØGAARD, A.; AASEN, I. Plant availability of inorganic and organic selenium fertiliser as influenced by soil organic matter content and pH. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 79, p. 221–231, 2007.

EL-RAMADY, H. R.; ALLA, N. A.; FÁRI, M.; DOMOKOS-SZABOLCSY, É. Selenium enriched vegetables as biofortification alternative for alleviating micronutrient malnutrition. **International Journal of Horticultural Science**, v. 20, n. 1-2, p. 75–81, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Hortalças. **Cultivo da Batata- doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1995. 18p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2013. 20 p.

ESTEVES, C.; NEVES, C.; CARVALHO, D. O Selênio e a Tiróide. **Arquivos de Medicina**, v. 26, n. 4, p. 149-153, 2012.

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

FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; COLLINGS, R.; HURST, R. Selenium bioavailability: current knowledge and future research requirements. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 91, n. 5, p. 1484–1491, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Near East fertilizer-use manual**. Rome: FAO, 2006. 164p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Human Vitamin and Mineral Requirements. Chapter 15: Selenium**. Rome: FAO, 2002, p. 235-255. Disponível em: <http://www.fao.org/3/Y2809E/y2809e00.htm>. Acesso em: 14 jun. 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Agriculture data FAOSTAT**. Rome: FAO, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#search/Sweet%20potatoes>. Acesso em: 20 jun. 2019.

FENG, R.; WEI, C.; TUD, S. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses. **Environmental and Experimental Botany**, v. 87, p. 58–68, 2013.

FERRARESE, M.; SOURESTANI, M.; QUATTRINI, E.; SCHIAVI, M.; FERRANTE, A. Biofortification of spinach plants applying selenium in the nutrient solution of floating system. **Vegetable Crops Research Bulletin**, v. 76, p. 127-136, 2012.

FERRI, T.; FAVERO, G.; FRASCONI, M. Selenium speciation in foods: Preliminary results on potatoes. **Microchemical Journal**, v. 85, n. 2, p. 222-227, 2007.

FIGUEIREDO, R. T. **Manejo da adubação potássica na cultura da batata-doce**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual De Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.

FILGUEIRA, F. A. R. **Convolvuláceas: batata-doce, a batata de clima quente. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008.

GOLLA, A. R.; HIRATA, A. C. S.; ARAÚJO, H. S.; SANTOS, V. B.; NARITA, N. Multiplicação de material vegetativo de batata-doce em diferentes bandejas e produção de raízes. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 7, n. 1, 7p. 2010.

GOLOB, A.; GADZO, D.; STIBILJ, V.; DJIKIC, M.; GAVRIC, T.; KREFT, I.; GERM, M. Sulphur interferes with selenium accumulation in Tartary buckwheat plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 108, p. 32-36, 2016.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M.; SAUNDERS, D. A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H. E.; BONIERBALE, M.; DE HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, v. 92, p.1-74, 2007.

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

HAJIBOLAND, R.; SADEGHZADE, N. Effect of selenium on CO₂ and NO₃ – assimilation under low and adequate nitrogen supply in wheat (*Triticum Aestivum* L.). **Photosynthetica**, v. 4, n. 4, p. 501-510, 2014.

HARTHILL, M. Review: micronutrient selenium deficiency influences evolution of some viral infectious diseases. **Biological Trace Element Research**, v. 143, n. 3, p.1325–1336, 2011.

HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M. Selenium pretreatment upregulates the antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system and confers enhanced tolerance to drought stress in rapeseed seedlings. **Biological Trace Element Research**, v. 143, p. 1758–1776, 2010a.

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

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

HERMANS, C.; HAMMOND, J. P.; WHITE, P. J.; VERBRUGGEN, N. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? **Trends in Plant Science**, v.11, p. 610-617, 2006.

HERNÁNDEZ-CASTRO, E.; TREJO-TÉLLEZ, L. I.; GÓMEZ-MERINO, F. C.; RODRÍGUEZ-MENDOZA, M. N.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; ROBLEDO-PAZ, A. Bioaccumulation of iron, selenium, nitrate, and proteins in chard shoots. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 15, n. 3, p. 694–710, 2015.

HUANG, Q. Q.; WANG, Q.; WAN, Y. N.; YU, Y.; JIANG, R. F.; LI, H. F. Application of X-ray absorption near edge spectroscopy to the study of the effect of sulphur on selenium uptake and assimilation in wheat seedlings. **Biologia Plantarum**, v. 61, p. 726–732, 2017.

HUSSAIN, S.; KHAN, F.; CAO, W.; WU, L.; GENG, M. Seed priming alters the production and detoxification of reactive oxygen intermediates in rice seedlings grown under sub-optimal temperature and nutrient supply. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 439, 2016a.

HUSSAIN, S.; KHAN, F.; HUSSAIN, H. A.; NIE, L. Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in rice cultivars. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 116, 2016b.

HUSSAIN, S.; YIN, H.; PENG, S.; KHAN, F. A.; KHAN, F.; SAMEEULLAH, M.; HUSSAIN, H. A.; HUANG, J., CUI, K., NIE, L. Comparative transcriptional profiling of primed and nonprimed rice seedlings under submergence stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1125, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 12 jun. 2020.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Censo Agropecuário do Estado de São Paulo**. São Paulo: SAA: IEA: CDRS, 2019.

JHONS, T.; EYZAGUIRRE, P. B. Biofortification, biodiversity and diet: A search for complementary applications against poverty and malnutrition. **Food Policy**, v. 32, p. 1-24, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Determination de la teneur en amylose. ISO 6647**. Switzerland: ISO, 1987. 4p.

JOY, E. J. M.; STEIN, A. J.; YOUNG, S. D.; ANDER, E. L.; WATTS, M. J.; BROADLEY, M. R. Zinc-enriched fertilizers as a potential public health intervention in Africa. **Plant Soil**, v. 389, n. 1–2, p. 1–24, 2015.

KÁPOLNA, E.; HILLESTRØM, P. R.; LAURSEN, K. H.; HUSTED, S. Effect of foliar application of selenium on its uptake and speciation in carrot. **Food Chemistry**, v. 115, p. 1357–1363, 2009.

KAUR N.; SHARMA S.; KAUR S. Selenium in agriculture: A nutrient or contaminant for crops? **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, p. 1593–1624, 2014.

KEHOE, S. H.; CHOPRA, H.; SAHARIAH, S. A.; BHAT, D.; MUNSHI, R. P.; PANCHAL, F.; YOUNG, S.; BROWN, N.; TARWANDE, D.; GANDHI, M.; MARGETTS, B. M.; POTDAR, R. D.; FALL, C. H. Effects of a food-based intervention on markers of micronutrient status among Indian women of low

socio-economic status. **British Journal of Nutrition**, v. 113, n. 5, p. 813-821, 2015.

KESHAN DISEASE RESEARCH GROUP. Observations on effect of sodium selenite in prevention of Keshan disease. **Chinese Medical Journal**, v. 92, n. 7, p. 471-476, 1979.

KHALIQ, A.; ASLAM, F.; MATLOOB, A.; HUSSAIN, S.; GENG, M.; WAHID, A.; REHMAN, H. Seed priming with selenium: consequences for emergence, seedling growth, and biochemical attributes of rice. **Biological Trace Element Research**, v. 166, p. 236-244, 2015.

KHAN, F.; HUSSAIN, S.; TANVEER, M.; KHAN, S.; HUSSAIN, H. A.; IQBAL, B.; GENG, M. Coordinated effects of lead toxicity and nutrient deprivation on growth, oxidative status, and elemental composition of primed and non-primed rice seedlings. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 21185-21194, 2018.

KIPP, A. P.; STROHM, D.; BRIGELIUS-FLOHÉ, R.; SCHOMBURG, L.; BECHTHOLD, A.; LESCHIK-BONNET, E.; HESEKER, H. Revised reference values for selenium intake. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 32, n. 1, p. 195–199, 2015.

KOUROUMA, V.; MU, T-H.; ZHANG, M.; SUN, H, N. Comparative study on chemical composition, polyphenols, flavonoids, carotenoids and antioxidant activities of various cultivars of sweet potato. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 55, n.1, p. 369-378, 2020.

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

LAURIE, S. M.; CALITZ, F. J.; ADEBOLA, P. O.; LEZAR, A. Characterization and evaluation of south african sweet potato (*Ipomoea Batatas* (L.) Lam.) land races. **South African Journal of Botany**, v. 85, p. 10-16, 2013.

LAURIE, S.; FABER, M.; ADEBOLA, P.; BELETE, A. Biofortification of sweet potato for food and nutrition security in South Africa, **Food Research International**, v. 76, n. 4, p. 962-970, 2015.

LEITE, C. E. C. **Novas cultivares de batatas-doces (*Ipomoea Batatas* L. Lam.): Potencial nutricional, Composição de bioativos, propriedades antioxidantes e análise aigital de imagem**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Pato Branco, 2017.

LEONEL, M.; JACKEY, S.; CEREDA, M. P. Processamento industrial de fécula de mandioca e batata doce - um estudo de caso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18 n. 3, p. 343-345, 1998.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 65–69, 2002.

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, n. 1, p. 92-102, 2008.

LIMA, F. S. de O.; SANTOS, W. B. S.; CORREIA, V. R.; DIAS, E. C. Farinha de batata-doce: um produto alternativo para alimentação e geração de renda nas comunidades rurais. **Anais 9º jornada de iniciação científica e extensão**, Instituto Federal de Tocantins, Palmas, 9 ed., p. 2176-4679, 2018.

LONGCHAMP, M.; CASTREC-ROUELLE M.; BIRON P.; BARIAC, T. Variations in the accumulation, localization and rate of metabolism of selenium in mature *Zea mays* plants supplied with selenite or selenate. **Food Chemistry**, v. 182, p. 128–135, 2015.

LOPES, A. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2. ed. Piracicaba: Editora Potafos, 1998. 177 p.

LORENZI, J. O.; MONTEIRO, P. A.; MIRANDA FILHO, H. S.; RAIJ, B. van. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 221-229. (IAC. Boletim Técnico, 100).

LOW, J. W.; ARIMOND, M.; OSMAN, N.; CUNGUARA, B.; ZANO, F.; TSCHIRLEY, D. A food-based approach introducing orange-fleshed sweet potatoes increased Vitamin A intake and serum retinol concentrations in young children in rural Mozambique. **The Journal of Nutrition**, v. 137, n. 5, p. 1320-1327, 2007.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MALORGIO, F.; DIAZ, K. E.; FERRANTE, A.; MENSUALI-SODI, A.; PEZZAROSSA, B. Effects of selenium addition on minimally processed leafy vegetables grown in a floating system. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 89, n. 13, p. 2243–2251, 2009.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. **Annals of Botany**, v. 78, n. 4, p. 527–528, 1996.

MATOS, R. P.; LIMA, V. M.; WINDMOLLER, C. C.; NASCENTES, C. C. Correlation between the natural levels of selenium and soil physicochemical characteristics from the Jequitinhonha Valley (MG). **Brazilian Journal of Geology**, v. 172, p. 195-202, 2017.

MEDEIROS, J. G.; PEREIRA, W.; MIRANDA, J. E. C. A. Análise de crescimento em duas cultivares de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.2, p.23-29, 1990.

MELLO, A. F. S. A importância socioeconômica da batata-doce para a agricultura brasileira, **Hortaliças em Revista**, Brasília/DF, ano 4, n. 17, p. 10-11, 2015.

MIRANDA, J. E. C. de.; FRANCA, F. H.; CARRIJO, O. A.; SOUZA, A. F.; AGUILAR, J. A. E. **Cultivo de batata-doce (*Ipomea batatas* (L.) Lam)**. Brasília: EMBRAPA/CNPH, 1987. 18p.

MIRANDA, J. E. C.; FRANÇA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; PEREIRA, W.; LOPES, C.A.; SILVA, J.B.C. **A cultura da batata-doce**. Brasília: EMBRAPA-CNPH. 1995. 94 p.

MISSANA, T.; ALONSO, U.; GARCÍA-GUTIÉRREZ, M. Experimental study and modeling of selenite sorption onto illite and smectite clays. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 334, p. 132–138, 2009.

MOGHADASZADEH, B.; BEGGS, A. H. Selenoproteins and their impact on human health through diverse physiological pathways. **Physiology**, v. 21, p. 307–315, 2006.

MONTEIRO, D. A.; PERESSIN, V. A. **Raízes e Tubérculos**. In: Raij, B Van, Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim técnico 100)

NASCIMENTO, S. M. C. **Nutrição mineral e produtividade da batata-doce biofortificada em função de doses de fósforo e potássio**. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciência do Solo), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

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

NAWAZ, F.; ASHRAF, M. Y.; AHMAD, R.; WARAICH, E. A.; SHABBIR, R. N.; BUKHARI, M, A. Supplemental selenium improves wheat grain yield and quality through alterations in biochemical processes under normal and water deficit conditions. **Food Chemistry**, v. 175, p. 350-357, 2015.

NAZ, F. S.; YUSUF, M.; KHAN, T. A.; FARIDUDDIN, Q.; AHMAD, A. Low level of selenium increases the efficacy of 24-epibrassinolide through altered physiological and biochemical traits of *Brassica juncea* plants. **Food Chemistry**, v. 185, p. 441-448, 2015.

NELSON, N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v. 153, n. 2, p. 375-380, 1944.

SILVA NUNES, J. G. **Efeitos das épocas de plantio e das doses de fósforo sobre a produtividade e qualidade de cultivares de batata-doce**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

NUTTI, M. R. A história dos Projetos HarvestPlus, AgroSalud e BioFORT no Brasil. *In*: Reunião de biofortificação no Brasil, 4., 2011, Teresina. **Palestras e resumos...** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1 CDROM.

NUTTI, M. R. Os avanços da pesquisa em biofortificação no Brasil. *In*: reunião de biofortificação no Brasil, 4., 2011, Teresina. **Palestras e resumos [...]** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.

OLIVEIRA, A. P.; MOURA, M. F.; NOGUEIRA, D. H.; CHAGAS, N. G.; BRAZ, M. S. S.; OLIVEIRA, M. R. T.; BARBOSA, J. A. Produção de raízes de batata-doce em função do uso de doses de N aplicadas no solo e via foliar. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 3, p. 279-282, 2006.

OLIVEIRA, V. C.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, K. C.; ANDRADE, F. R.; PEREIRA, J.; GUILHERME, L. R. G. Agronomic biofortification of carrot with selenium. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 2, p. 138-147, 2018.

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

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

PERESSIN, V. A.; FELTRAN, J. C. **Batata-doce: *Ipomoea batatas* (L.) Lam. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. Campinas: IAC, 2014. Unico, p. 36-38.

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

PILON-SMITS, E. A.; QUINN, C. F.; TAPKEN, W.; MALAGOLI, M.; SCHIAVON, M. Physiological functions of beneficial elements. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 267–274, 2009.

PORRAS, I. C.; MURIEL, A. C.; MORALES, B. O.; POZO, J. F.; ARANDA, J. G.; PÉREZ, L. Evaluación de nutrición parenteral estandarizada en niños. **Nutrición Hospitalaria**, v. 25, p. 449-455, 2010.

PUKACKA, S.; RATAJCZAK, E.; KALEMBA. The protective role of selenium in recalcitrant *Acer saccharium* L. seeds subjected to desiccation. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, p. 220-225, 2011.

PUSHPALATHA, M.; VAIDYA, P. H.; ADSUL, P. B. Effect of graded levels of nitrogen and potassium on yield and quality of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, v. 5, p. 1689-1696, 2017.

QUEIROGA, R. C. F.; SANTOS, M. A.; MENEZES, M. A.; VIEIRA, C.P.G.; SILVA, M.C. Fisiologia e produção de cultivares de batata-doce em função da época de colheita. **Horticultura Brasileira**, v.25, p.371-374, 2007.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Editora Instituto Agrônômico (IAC), 2001. 285p.

RAMOS, S. J. et al. Selenium accumulation in lettuce germplasm. **Planta**, v. 233, n. 4, p. 649-660, 2010.

RAMOUTAR, R. R.; BRUMAGHIM, J. L. Antioxidant and anticancer properties and mechanisms of inorganic selenium, oxo-sulfur, and oxo-selenium compounds. **Biophysical Journal**, v. 58, p. 1–23, 2010.

RAVI, V.; NASKAR, S.K.; MAKESHKUMAR, T.; BABU, B.; KRISHNAN, B.S.P. Molecular physiology of storage root formation and development in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). **Journal of Root Crops**, v.35, p.1-27, 2009.

RAYMAN, M. P. Selenium and human health. **The Lancet**, v. 379, n. 9822, p. 1256–1268, 2012.

RAYMAN, M. P. Selenium intake, status, and health: a complex relationship. **Hormones**, v. 19, n. 1, p. 9–14, 2020.

REIS JÚNIOR, R. A.; FONTES, P. C. R. Qualidade de tubérculos de batata em função de doses da adubação potássica. **Horticultura Brasileira**, v. 4, n. 3, p. 170-174, 1996.

REIS, A. R.; EL-RAMADY, H.; SANTOS, E. F.; GRATÃO, P. L.; SCHOMBURG, L. Overview of selenium deficiency and toxicity worldwide: Affected areas, selenium-related health issues, and case studies. **Plant Ecophysiology**, v. 11, p. 209–230, 2017.

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.

RÍOS, J. J.; BLASCO, B.; ROSALES, M. A.; SANCHEZ-RODRIGUEZ, E.; LEYVA, R.; CERVILLA, L. M.; ROMERO, L.; RUIZ, J. M. Response of nitrogen metabolism in lettuce plants subjected to different doses and forms of selenium. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, p. 1914-1919, 2010.

ROCHA, M. de M.; ALMEIDA, M. J. de O.; SILVA, K. J. D. e; NEVES, A. C. das. **BioFORT: saúde na mesa do brasileiro**. Embrapa Meio-Norte: EMBRAPA. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1074213/biofort-saude-na-mesa-do-brasileiro>. Acesso em: 19 jun. 2020.

SANCHEZ, P. D. C.; HASHIM, N.; SHAMSUDIN, R.; NOR, M. Z. M. Quality evaluation of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* L.) of different varieties using laser light backscattering imaging technique. **Scientia Horticulturae**, v. 260, p.108861, 2020.

SANTOS, J. F.; OLIVEIRA, A. P.; ALVES, A. U.; DORNELAS, C. S. M.; BRITO, C. H.; NÓBREGA, J. P. R. Produção de batata-doce adubada com esterco bovino em solo com baixo teor de matéria orgânica. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 103-106, 2006.

SANTOS NETO, A. R., SILVA, T. O., BLANK, A. F.; SILVA, J. O.; FILHO, R. N. A. F. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 445-452, 2017.

SARWAR, N.; AKHTAR, M.; KAMRAN, M. A.; IMRAN, M.; RIAZ, M. A.; KAMRAN, L.; HUSSAIN, S. Selenium biofortification in food crops: Key mechanisms and future perspectives. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 93, p. 103615, 2020.

SHARMA, S., KAUR, N., KAUR, S., NAYYAR, H. Selenium as a nutrient in biostimulation and biofortification of cereals. **Indian Journal of Plant Physiology**, v. 22, p. 1-15, 2017.

SIEPRAWSKA, A.; KORNAS, A.; FILEK, M. Involvement of selenium in protective mechanisms of plants under environmental stress conditions-review. **Acta Biologica Cracoviensia**, v. 57, n. 1, p. 9-20, 2015.

SIGMAPLOT FOR WINDOWS, version 10. 2006. Disponível em: <http://systat.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 13 dez. 2019.

SILVA, J. B. C. da; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **Cultura da batata-doce**. In: CEREDA, M. P. Agricultura: Tuberosas Amiláceas Latino Americanas. São Paulo: Cargill, v.2, p. 448-504, 2002.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. **Cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* L.)**, n. 6. Versão Eletrônica. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Batata-doce/Batata-doce_Ipomoea_batatas/introducao.html. Acesso em: 01 fev. 2020.

SILVA, R. G. V. **Caracterização físico-química de farinha de batata-doce para produtos de panificação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2010.

SMOLEŃ, S.; KOWALSKAA, I.; SKOCZYLASB, L.; LISZKA-SKOCZYLASC, M.; GRZANKAA, M.; HALKAA, M.; SADYA, W. The effect of salicylic acid on biofortification with iodine and selenium and the quality of potato cultivated in the NFT system. **Scientia Horticulturae**, v. 240, p. 530–543, 2018.

SOARES, K. T.; MELO, A. S. de.; MATIAS, E. C. **A cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)**. João Pessoa: EMEPA-PB, 2002. 26p.

SOARES, I. M. **Determinação do conteúdo fenólico, flavonoides e atividade antioxidante nas folhas de dez cultivares de *Ipomoea Batatas* (L.) Lam.** Desenvolvidas para produção industrial de etanol. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Tocantins, Tocantins, 2013.

SORS T. G.; ELLIS D. R.; NA G. N.; LAHNER, B.; LEE, S.; LEUSTEK, T.; PICKERING, I. J.; SALT, D. E. Analysis of sulfur and selenium assimilation in *Astragalus* plants with varying capacities to accumulate selenium. **The Plant Journal**, v.42, p.785–797, 2005.

SOMOGYI, M. Determination of blood sugar. **Journal of Biological Chemistry**, v. 160, p. 69-73, 1945.

SPENCE, J.A.; HUMPHRIES, E.C. Effects of moisture supply, temperature and growth regulators on photosynthesis of isolated root leaves of sweet potato *Ipomoea batatas*. **Annals of Botany**, v. 36, p.115-121, 1972.

SUN, X.; WANG, Y.; HAN, G.; YE, S.; ZHOU, X. Effects of different selenium forms on selenium accumulation, plant growth, and physiological parameters of wild peach. **South African Journal of Botany**, v. 131, p.437-442, 2020.

SUNDE, R.A. Selenium. In: O'DELL B.I.; SUNDE, R. A. **Handbook of nutritionally essential mineral elements**. New York: Marcel Dekker Inc., 1997. p. 493-556.

SUPRIATIN, S.; WENG, L.; COMANS, R. N. Selenium speciation and extractability in Dutch agricultural soils. **Science of the Total Environment**, v. 532, p. 368-382, 2015.

TAN, H. W.; MO, H. Y.; LAU, A. T. Y.; XU, Y. M. Selenium species: current status and potentials in cancer prevention and therapy. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 1, p. 75, 2018.

TARA, F.; RAYMAN, M. P.; BOSKABADI, H. Pro oxidant-antioxidant balance in pregnancy: a randomized double-blind placebo-controlled trial of selenium supplementation. **Journal of Perinatal Medicine**, v.5, p. 473–478, 2010.

TURAKAINEN, M.; HARTIKAINEN, H; SEPPÄNEN, M. M. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 5378–5382, 2004a.

USLU, N.; SALTİK-TEMİZEL, I. N.; DEMİR, H.; GÜRAKAN, F.; ÖZEN, H.; YÜCE, A. Serum selenium concentrations in cirrhotic children. **Turkish Journal of Gastroenterology**, v.21, p.153-5, 2010.

VALEA, A.; GEORGESCU, C. E. Selenoproteins in human body: focus on thyroid pathophysiology. **Hormones**, v. 17, n. 2, p. 183–196, 2018.

VILLAVICENCIO, L. E.; BLANKENSHIP, S. M.; YENCHO, G. C.; THOMAS, J. F.; RAPER, C. D. Temperature effect on skin adhesion, cell wall enzyme activity, lignin content, anthocyanins, growth parameters, and periderm histochemistry of sweet potato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.132, p.729-738, 2007.

VILLORDON, A.; LABONTE, D. R.; FIRON, N.; KFIR, Y.; PRESSMAN, E. SCHWARTZ, A. Characterization of adventitious root development in sweet potato. **Horticultural Science**, v.44, p.651-655, 2009.

WAN, Y.; YU, Y.; WANG, Q.; QIAO, Y.; LI, H. Cadmium uptake dynamics and translocation in rice seedling: influence of different forms of selenium. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 133, p. 127-134, 2016.

WANG, P.; MENZIES, N. W.; LOMBI, E.; MCKENNA, B. A.; JAMES, S.; TANG, C.; KOPITKE, P. M. Synchrotron-based X-ray absorption near-edge spectroscopy imaging for laterally resolved speciation of selenium in fresh roots and leaves of wheat and rice. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, p.4795–4806, 2015.

WANG, W.; CHEN, Q.; HUSSAIN, S.; MEI, J.; DONG, H.; PENG, S.; HUANG, J.; CUI, K.; NIE, L. Pre-sowing seed treatments in direct-seeded early rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under chilling stress. **Scientific Report**, v. 6, p. 1-10, 2016.

WHITE, P. J.; BOWEN, H. C.; PARMAGURU, P.; FRITZ, M.; SPRACKLEN, W. P.; SPIBY, R. E.; MEACHAM, M. C.; MEAD, A.; HARRIMAN, M.; TRUEMAN, L. J.; SMITH, B. M.; THOMAS, B.; BROADLEY, M. R. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis Thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 404, p. 1927–1937, 2004.

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

WHITE, P. J. Selenium accumulation by plants. **Annals of Botany**, v. 117, n. 2, p. 217–235, 2016.

World Health Organization. **Nutrition for health and and development: a global agenda for combating malnutrition**. Geneva: WHO, 2000. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66509>. Acesso em 29 dez 2019.

World Health Organization. **Global prevalence of vitamin A deficiency in populations at risk 1995–2005**: WHO global database on Vitamin A deficiency. Geneva: WHO, 2009. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44110>. Acesso em 20 dez 2019.

World Health Organization. **World Health Statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals**. Geneva: WHO, 2018. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272596>. Acesso em 20 dez 2019.

WINKEL, L. H.; VRIENS, B.; JONES, G. D.; SCHNEIDER, L. S.; PILON-SMITS, E.; BANUELOS, G. S. Selenium cycling across soil-plant-atmosphere interfaces: a critical review. **Nutrients**, v.7, p. 4199-4239, 2015.

WONG, Y. Y.; MOON, A.; DUFFIN, R.; BARTHET-BARATEIG, A.; MEIJER, H. A.; CLEMENS, M. J.; MOOR, C. H. Cordycepin inhibits protein synthesis and cell adhesion through effects on signal transduction. **Journal of Biological Chemistry**, v. 285, p. 2610–2621, 2010.

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

YAO, X.; JIANZHOU, C.; XUELI, H.; BINBIN, L.; JINGMIN, L.; ZHAOWEI, Y. Effects of selenium on agronomical characters of winter wheat exposed to enhanced ultravioletB. **Ecotoxicology Environmental Safety**, v. 92, p. 320–326, 2013.

YONEYA, T.; ISHIBASHI, K.; HIRONAKA, K.; YAMAMOTO, K. Influence of cross-linked potato starch treated with POCl₃ on DSC, rheological properties and granule size. **Carbohydr Polymers**, v. 53, p. 447–457, 2003.

ZHANG, H.; ZHAO, Z.; ZHANG, X.; ZHANG, W.; HUANG, H.; ZHANG, Z.; YUAN, L.; LIU, X. Effects of foliar application of selenate and selenite at different growth stages on Selenium accumulation and speciation in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Food Chemistry**, v. 286, p. 550-556, 2019.

ZHU, Z.; CHEN, Y.; ZHANG, X.; LI, M. Effect of foliar treatment of sodium selenate on postharvest decay and quality of tomato fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 198, n. 1, p. 304-310, 2016.