

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DA RÚCULA COM  
SELÊNIO EM SISTEMA HIDROPÔNICO**

**Carolina Seno Nascimento**

Engenheira Agrônoma

**2018**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DA RÚCULA COM  
SELÊNIO EM SISTEMA HIDROPÔNICO**

**Carolina Seno Nascimento**

**Orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

**2018**

N244b Nascimento, Carolina Seno  
Biofortificação agrônômica da rúcula com selênio em sistema hidropônico / Carolina Seno Nascimento. -- Jaboticabal, 2018  
xiii, 30 p: il; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018  
Orientador: Arthur Bernardes Cecílio Filho  
Banca examinadora: André Rodrigues dos Reis, Hilário Júnior de Almeida  
Bibliografia

1. Cultivo sem solo. 2. *Eruca sativa*. 3. Nutrição mineral. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 582.683.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DA RÚCULA COM SELÊNIO EM SISTEMA HIDROPÔNICO

**AUTORA: CAROLINA SENO NASCIMENTO**

**ORIENTADOR: ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO  
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Dr. HILÁRIO JÚNIOR DE ALMEIDA  
Autônomo / Engenheiro Agrônomo - Jaboticabal/SP

Prof. Dr. ANDRÉ RODRIGUES DOS REIS  
Câmpus Experimental de Tupã / UNESP

Jaboticabal, 20 de fevereiro de 2018

## DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Carolina Seno Nascimento nasceu em 20 de setembro de 1990 em Diadema-SP. Filha de Yaeko Senô e Jorge José de Luna Nascimento. No ano de 2010 ingressou no curso de engenharia agrônoma na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), campus de Jaboticabal. Durante a graduação foi bolsista do projeto de extensão Hortaliças (2010), bolsista de iniciação científica CNPq Modalidade ITI-A (2010/2011), monitora na área de informática (2012/2013), bolsista de iniciação científica pela Fundação para o Desenvolvimento da UNESP (2013/2014). De agosto de 2014 a dezembro de 2015 realizou intercâmbio nos Estados Unidos pelo programa Ciências sem Fronteiras, durante este período cursou disciplinas acadêmicas e desenvolveu um projeto de iniciação científica avaliando condições de armazenamento de sementes de *Pennycress* na Western Illinois University localizada na cidade de Macomb, no Estado de Illinois. Realizou o estágio curricular obrigatório na área de plantas daninhas na University of Wisconsin localizada na cidade de Madison, no Estado de Wisconsin, Estados Unidos. Em dezembro de 2015 obteve o título de Engenheira Agrônoma pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), campus de Jaboticabal. Em agosto de 2016 deu início ao curso de mestrado, junto ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), nesta mesma universidade.

*“A persistência é a tentativa renovada e reciclada de se atingir um objetivo importante. O indivíduo que persiste nunca desiste, mostra ter uma grande força de vontade”.*

**Isaac Efraim**

## **OFEREÇO**

Em especial aos meus avós Ziro Senô e Ana Akemi de Britto Senô e a minha mãe Yaeko Senô, que sempre foram meus exemplos de conduta, amor, trabalho e dedicação, me incentivando e apoiando em todos os momentos dessa minha caminhada e sem os quais seria impossível alcançar mais esta conquista.

A minha irmã Camila Seno Nascimento pelo incentivo, confiança, compreensão e apoio irrestrito. A minha irmã Juliana Yukiko Senô e a minha sobrinha Beatriz Akemi Senô Matayoshi, pelo apoio e conselhos.

E a todos os meus amigos e familiares que sempre me apoiaram nesta jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela força e proteção que me guia e que me fez chegar até aqui.

Ao Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho pela oportunidade, orientação, confiança, incentivo, profissionalismo e compreensão.

À FCAV/UNESP, em especial aos Departamentos de Ciência do Solo, Produção Vegetal e Biologia. Aos funcionários dos departamentos, muito obrigada, pois todos de alguma forma colaboraram para minha formação.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, a Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) pela oportunidade de realização do Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

A toda minha família, em especial aos meus avós, minha mãe, minhas irmãs e minha sobrinha pela compreensão e apoio. Aos meus amigos que sempre estiveram presentes me incentivando durante esta trajetória.

A Profa. Dra. Priscila Lupino Gratão por todo o auxílio.

Aos funcionários do Setor de Olericultura e Plantas Aromático-Medicinais, Srs. Inauro Santana de Lima, Reinaldo Aparecido dos Santos e Cláudio Oian, pelo auxílio na condução deste trabalho, os quais foram fundamentais na realização do mesmo e tenho enorme consideração.

As funcionárias Sidnéia de Aguiar Ferreira e Sônia Maria Carregari, por todo o auxílio nas análises de laboratório.

Aos membros da banca examinadora Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho, Prof. Dr. André Rodrigues dos Reis e Dr. Hilário Júnior de Almeida, pelo aceite do convite e pelas contribuições acerca da dissertação.

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



## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 Rúcula.....	3
2.2 Selênio .....	3
2.3 Biofortificação de alimentos .....	4
2.4 Programa de biofortificação de sucesso .....	7
2.5 Legislação referente a presença de Se em produtos alimentícios .....	7
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	10
3.1 Época e caracterização do local .....	10
3.2 Tratamentos e delineamento experimental .....	10
3.3 Instalação e condução do experimento.....	10
3.4 Características avaliadas .....	13
3.5 Análise estatística .....	13
<b>4 RESULTADOS</b> .....	14
4.1 Estado nutricional e teor de Se .....	14
4.2 Crescimento e produtividade .....	15
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	18
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	22
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	23

## BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DA RÚCULA COM SELÊNIO EM SISTEMA HIDROPÔNICO

**RESUMO-** O selênio (Se) é um micronutriente essencial aos seres humanos e animais, entretanto verifica-se frequentemente alimentos pobres neste micronutriente, fato este, explicado principalmente pelo seu baixo teor nos solos. Uma dieta deficiente neste mineral resulta na maior suscetibilidade a uma série de doenças, dentre elas câncer, hipertireoidismo e doenças cardíacas. Nesse contexto, a biofortificação de alimentos é uma alternativa promissora para a inserção do Se na alimentação humana. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de doses de Se no crescimento, produção e biofortificação da rúcula. Plantas de rúcula foram cultivadas em ambiente protegido no sistema hidropônico. Foram avaliadas sete concentrações de Se (0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), utilizando-se o selenato de sódio como fonte de Se. O número de folhas, área foliar, altura, massa fresca e seca da parte aérea, massa seca da raiz e produtividade foram influenciados pelas concentrações de Se. Os melhores resultados foram obtidos entre as concentrações 20 a 29  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Se. Os teores de enxofre (S) e potássio (K) aumentaram linearmente com incremento no fornecimento de Se. Constatou-se a biofortificação agronômica da rúcula, pois o aumento da concentração de Se na solução nutritiva resultou em aumento no teor deste elemento na planta. Os tratamentos com o fornecimento de Se na solução nutritiva proporcionaram rúculas com teores que variaram de 598,96 a 1437,56  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de Se, em relação às plantas cultivadas em solução nutritiva sem Se que apresentaram 167,84  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de Se.

**Palavras-chave:** Cultivo sem solo, *Eruca sativa*, nutrição mineral

## AGRICULTURAL BIOFORTIFICATION OF ROCKET WITH SELENIUM IN HYDROPONIC SYSTEM

**ABSTRACT-** Selenium (Se) is an essential micronutrient for humans and animals. However, food often presents low content of this micronutrient, which is resulted mainly due to the low content of Se in the soil. The insufficient consumption of this mineral can increase the susceptibility to several diseases, including cancer, hyperthyroidism and heart disease. In this context, the biofortification of food is a promising alternative for Se insertion into the human diet. The objective of this study was to evaluate the effect of Se doses on the growth, production, and biofortification of rocket plants. Rocket plants were grown in a protected environment in the hydroponic system. Seven concentrations of Se (0,10, 20, 30, 40, 50 and 60  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) were evaluated. Sodium selenate was used as a source of Se. The number of leaves, leaf area, height, fresh and dry shoot mass, root dry mass and productivity were influenced by the concentrations of Se. The best results were obtained between the concentrations 20 to 29  $\mu\text{mol L}^{-1}$  of Se. With the supply of Se was possibly observed a linear increase in the sulfur (S) and potassium (K) contents. Agronomic biofortification of rocket plants was verified since the increase of the Se concentration in the nutritive solution resulted in an increase in the content of this element in the plant. Treatments with the supply of Se in the nutrient solution provided rocket plants ranging from 598.96 to 1437.56  $\mu\text{g kg}^{-1}$  of Se, in relation to plants grown in nutrient solution without Se that presented 167,84  $\mu\text{g kg}^{-1}$  Se.

**Key words:** Soilless cultivation, *Eruca sativa*, mineral nutrition

**LISTA DE TABELAS**

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1:</b> Teores de Se considerados adequados nas diferentes faixas etárias .....	5
<b>Tabela 2:</b> Código de normas alimentares Australiana referente à presença de Se nos alimentos .....	8
<b>Tabela 3:</b> Faixas de teores foliares na rúcula observados com as concentrações de selênio na solução nutritiva. ....	14

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1:</b> Plântulas de rúcula, cultivadas em espuma fenólica.....	12
<b>Figura 2:</b> Mudanças de rúcula durante a fase 2 (berçário).....	12
<b>Figura 3:</b> Rúcula durante a fase 3. ....	12
<b>Figura 4:</b> Teor foliar de potássio (A) e de enxofre (B) em plantas de rúcula em resposta a concentrações de selênio.....	14
<b>Figura 5:</b> Teor foliar de selênio em plantas de rúcula em resposta às concentrações de selênio na solução nutritiva. ....	15
<b>Figura 6:</b> Massa fresca (A) e seca (B) da parte aérea de plantas de rúcula em resposta às concentrações de selênio.....	16
<b>Figura 7:</b> Altura (A) e área foliar (B) das plantas de rúcula em resposta às concentrações de selênio.....	17
<b>Figura 8:</b> Número de folhas (A) e massa seca da raiz (B) das plantas de rúcula em resposta às concentrações de selênio .....	17
<b>Figura 9:</b> Produtividade da rúcula em resposta às concentrações de selênio na solução nutritiva. ....	18

## 1 INTRODUÇÃO

O Se é um micronutriente essencial aos seres humanos e animais. Este mineral é integrante de cerca de vinte e cinco selenoproteínas que participam de diversos processos fisiológicos e bioquímicos (RAYMAN, 2012), uma dieta deficiente neste micronutriente pode gerar grandes prejuízos à saúde. Mais de 40 doenças estão associadas à sua deficiência, dentre elas, doença de Keshan, doenças cardiovasculares, câncer, doenças hepáticas, hipertireoidismo e infertilidade masculina (RAYMAN, 2012; HATFIELD et al., 2014; ROMAN et al., 2014).

O Se é basicamente incorporado à nutrição humana via produtos agrícolas (JOY et al., 2015). No Brasil, em razão dos baixos teores no solo, a sua concentração em alimentos de origem vegetal é considerada baixa, quando comparada aos padrões internacionais (FERREIRA et al., 2002). No mundo cerca de 1 bilhão de pessoas apresentam deficiência deste mineral (WHITE, 2016), a fim de reduzir esses índices a biofortificação agrônômica tem sido cada vez mais utilizada. Essa técnica consiste na aplicação via solo ou foliar de fertilizantes contendo o mineral, aumentando desta forma sua concentração nos alimentos e, conseqüentemente, garantindo sua maior ingestão pela população (ALFTHAN et al., 2015).

Paralelamente ao efeito positivo à saúde humana, inúmeras pesquisas têm demonstrado que o Se também é importante no desenvolvimento das plantas. Observa-se, entretanto, que este mineral apresenta um estreito intervalo entre o teor benéfico e tóxico (LENZ et al., 2012). Quando presente em baixos teores na planta, o Se atua benéficamente sobre o crescimento e tolerância a estresses bióticos e abióticos, porém, altos teores podem levar a sintomas de toxicidade, influenciando negativamente processos bioquímicos e fisiológicos, ocasionando reduções no desenvolvimento, qualidade e produtividade da planta (MENGEL et al., 2001).

Devido à escassez de pesquisas relacionadas ao estudo de Se para o estabelecimento de doses adequadas para o cultivo de rúcula em sistema hidropônico, do estreito limite entre o teor benéfico e tóxico para o desenvolvimento das plantas e da comprovada importância deste elemento para o crescimento e desenvolvimento humano, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos do

fornecimento de Se sobre o crescimento, nutrição, produção e biofortificação da rúcula.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Rúcula

Pertencente à família Brassicaceae, a rúcula (*Eruca sativa* Mill) é uma folhosa herbácea de crescimento vegetativo rápido, conhecida por seu sabor picante, odor agradável e alto valor nutricional, sendo rica em ferro (Fe), K, S e vitaminas A e C, comumente é utilizada em saladas e no preparo de pizzas. Esta cultura se caracteriza por ser uma planta anual, de baixo porte, apresentando normalmente altura entre 15 e 30 cm, suas folhas são relativamente espessas, divididas e tenras. (FILGUEIRA, 2003; JARDINA et al., 2017). No Brasil, as cultivares mais consumidas são a 'Cultivada' e a 'Folha Larga'.

A rúcula apresenta melhor desenvolvimento em regiões de clima ameno, com temperaturas entre 15 e 18°C (FILGUEIRA, 2012). As principais áreas produtoras são as regiões Sul e Sudeste. No caso do cultivo em regiões com temperaturas elevadas as plantas tendem a florescer precocemente, e apresentam folhas menos tenras e mais amargas.

Desde a década de 90 a rúcula vem ganhando destaque no mercado interno, apresentando um crescente aumento em sua área de cultivo e no volume comercializado (ALVES; SÁ, 2010). De acordo com a Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), em 2015, houve entrada de 2.046 toneladas de rúcula na CEAGESP em São Paulo, estando ela entre as hortaliças mais comercializadas, demonstrando assim sua importância econômica e grande aceitação no mercado interno.

### 2.2 Selênio

O Se encontra-se presente no ambiente, nas formas orgânica, elementar ( $\text{Se}^0$ ), de seleneto ( $\text{Se}^{2-}$ ), de selenato ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) ou de selenito ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ) (FISHBEIN, 1991).

O selenato e o selenito de sódio são as fontes de selênio mais estudadas pelos programas de biofortificação, entretanto, elas apresentam consideráveis diferenças em relação à absorção, translocação e metabolismo (LONGCHAMP et al., 2015). O



selenato de sódio apresenta grande facilidade de translocação do sistema radicular para a parte aérea, esta fonte é translocada principalmente na forma inorgânica e sua absorção ocorre diretamente pelos transportadores de sulfato de alta afinidade.

O selenito de sódio é transportado pelos transportadores de fosfato considerados menos eficientes e, assim, tende a se acumular em maior quantidade nas raízes (RÍOS et al., 2008a; MALAGOLI et al., 2015), esta fonte é rapidamente convertido em selenoaminoácidos nas raízes (SOUZA et al., 1998; ZAYED et al., 1998) e translocado para a parte aérea na forma orgânica, forma esta, prontamente incorporada em proteínas em substituição ao S, podendo ocasionar efeito tóxico sobre a planta, mesmo quando aplicado em baixas concentrações (HOPPER; PARKER, 1999; GALINHA et al., 2015).

### **2.3 Biofortificação de alimentos**

Os alimentos de origem vegetal são as principais fontes de nutrientes para os seres humanos e animais. Entretanto, em razão dos solos ao redor do mundo apresentarem um acentuado desbalanço mineral é frequente que os alimentos exibam teores reduzidos de nutrientes considerados essenciais a dieta humana.

Estimativas demonstram que grande parte da população mundial apresente algum tipo de deficiência nutricional. Dentre as deficiências mais frequentes podemos citar a do micronutriente Fe, que ocorre em cerca de 60% da população mundial, deficiência de zinco (Zn) e de Iodo (I) que abrangem 30% da população e deficiência de Se presente em 15% da população (HAWRYLAK-NOWAK, 2013).

Diversas estratégias podem ser empregadas para garantir a ingestão de teores adequados de vitaminas e minerais, dentre elas podemos citar uma dieta diversificada que inclua o consumo de frutas, legumes, cereais e proteínas animais; ingestão de suplementos; fortificação de produtos alimentares e a biofortificação de plantas (RAYMAN, 2004; FAIRWEATHER et al., 2011). Uma dieta diversificada frequentemente resulta no consumo adequado de nutrientes, entretanto, em muitos cenários socioeconômicos encontrados pelo mundo, o acesso a uma dieta variada nem sempre é possível (BENEMARIYA et al., 1993; FAIRWEATHER et al., 2011).

Desta forma, a biofortificação de alimentos tem se mostrado uma eficiente alternativa no combate a deficiências nutricionais. Essa técnica tem por objetivo a elevação a níveis adequados de vitaminas e minerais nas partes comestíveis da planta, visando a complementação da nutrição de seres humanos e animais. A biofortificação pode ocorrer através do melhoramento genético de plantas ou através da adubação mineral (biofortificação agrônômica). O processo de biofortificação é geralmente empregado em culturas cereais e vegetais de alto consumo, garantindo assim que elevada parcela da população tenha acesso a este produto biofortificado.

A biofortificação é considerada uma técnica sustentável, de baixo custo e alta eficiência. Estes fatores fazem com que ela possa ser amplamente empregada, garantindo que tanto os países desenvolvidos como os países sub-desenvolvidos que apresentam escassos recursos financeiros, e de saúde possam utilizar esta técnica como forma de reduzir os índices de deficiência nutricional da região. (REIS et al., 2013; ÁVILA et al., 2014).

O corpo humano necessita de certas quantidades diárias de nutrientes para que possa se desenvolver adequadamente. Em fevereiro de 2015, foi liberado pela *German, Austrian and Swiss Nutrition Societies* uma versão atualizada dos "valores de referência para ingestão de nutrientes". Através desta tabela é possível obter os teores de ingestão considerados adequados de Se, teores estes, que variam de 10 a 75  $\mu\text{g dia}^{-1}$  (Tabela 1). Destaca-se que para a delimitação dos valores de referência a sociedade de nutrição teve como base a saturação de selenoproteínas presentes no plasma sanguíneo (KIPP et al., 2015).

**Tabela 1:** Teores de Se considerados adequados nas diferentes faixas etárias

	<b>Idade (Meses)</b>	<b>Selênio <math>\mu\text{g dia}^{-1}</math></b>
<b>Bebês</b>	0 a 4	10
	4 a 12	15
<b>Crianças e adolescentes</b>	<b>Idade (Anos)</b>	<b>Selênio <math>\mu\text{g dia}^{-1}</math></b>
	1 a 4	15
	4 a 7	20
	7 a 10	30

	10 a 13	45	
	13 a 15	60	
	15 a 19	70 para meninos	
		60 para meninas	
<b>Adultos</b>	<b>Idade (Anos)</b>	<b>Selênio <math>\mu\text{g dia}^{-1}</math></b>	
		<b>Homens</b>	<b>Mulheres</b>
	19 a 25 anos	70	60
	25 a 51 anos	70	60
	51 a 65 anos	70	60
	Acima de 65 anos	70	60
<b>Casos especiais</b>	<b>Situações</b>		<b>Selênio <math>\mu\text{g dia}^{-1}</math></b>
	Mulheres grávidas		60
	Mulheres em lactação		75

**Fonte:** Tabela adaptada de Kipp et al. (2015)

Apesar da comprovada importância do Se para o adequado crescimento e desenvolvimento dos seres humanos os programas de biofortificação devem se atentar para que os alimentos produzidos através deste processo não apresentem teores de Se que possam resultar em problemas de toxidez, uma vez que a margem entre os teores benéficos e tóxicos são bem estreitos.

O consumo excessivo de Se gera sérios problemas a saúde. A ingestão de teores elevados deste micronutriente durante um curto período, pode resultar no aparecimento de sintomas como náuseas, vômitos e diarreia. Nos casos em que o consumo excessivo ocorre de forma crônica, verifica-se o desenvolvimento de uma doença específica conhecida como selenose. Os sintomas causados pela selenose incluem queda de cabelo, cabelos quebradiços, unhas espessas e com aspecto estratificado, distúrbios gastrointestinais, hálito e pele com odor de alho, danos no sistema cardiovascular, neurológico e hematopoiéticos (YANG et al., 1883; DHILLON, 2003). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos estimou que o consumo médio de Se que leva a ocorrência de sintomas clínicos de selenose são de  $1262 \mu\text{g Se dia}^{-1}$  (PUCCINELLI et al., 2017).

## **2.4 Programa de biofortificação de sucesso**

A deficiência de Se ocorre em muitos locais ao redor do mundo, sendo um problema comumente observado em regiões que apresentam solos com baixos teores deste elemento, estes solos são principalmente encontrados em certas regiões da China, Austrália, Nova Zelândia, EUA, e Finlândia (OLDFIELD, 2002).

Perante as evidências da baixa ingestão deste micronutriente por elevada parcela da população mundial estratégias vem sendo adotadas para o incremento do Se a níveis nutricionalmente apropriados.

Como exemplo de sucesso no emprego dessas estratégias, pode ser citada a Finlândia, que vem adotando o procedimento de biofortificação agrônômica de alimentos desde 1984. Em virtude das concentrações de selênio presentes em seus solos serem consideradas baixas, é realizada a incorporação de selenato de sódio, geralmente, nas misturas de NPK aplicadas nas culturas, de modo a aumentar a qualidade nutricional dos produtos locais (EICHHOLZER, 2003) reduzindo assim, os potenciais riscos à saúde causados por esta deficiência nutricional (ALFTHAN et al., 2011; WINKEL et al., 2015). De acordo com os autores Aro et al. (1995), a prática finlandesa tem se mostrado muito segura, de baixo custo, fácil de ser executada e altamente eficaz. Esta ação vem resultando na elevação dos teores de Se nos alimentos, garantindo conseqüentemente maior ingestão deste micronutriente pela população. Esses mesmos autores salientam que já nos primeiros três anos da implementação do programa de biofortificação agrônômica, a ingestão de Se na dieta da população finlandesa triplicou e a concentração deste micronutriente presente no plasma sanguíneo chegou a quase duplicar. Além disto, verifica-se desde 1985 reduções significativas na ocorrência de doenças cardiovasculares e de certos tipos de câncer, demonstrando, assim, o sucesso do emprego desta prática para a saúde da população naquele país (ARO et al., 1995).

## **2.5 Legislação referente a presença de Se em produtos alimentícios**

Os governos ao redor do mundo buscam assegurar às suas populações o fornecimento de alimentos seguros e nutritivos. Para que isto seja possível, são

desenvolvidos regulamentos que visam monitorar e controlar a presença de elementos potencialmente tóxicos e garantir que os alimentos apresentem concentrações adequadas de substâncias consideradas nutricionalmente importantes para os seres humanos (MIZUTANI et al., 1992).

Os regulamentos têm por objetivo estabelecer a concentração máxima permitida de elementos que apresentem eventuais riscos à saúde dos consumidores quando ingeridos em quantidades excessivas. Cada país pode estabelecer seus regulamentos determinando quais elementos serão incluídos em suas listas e as concentrações permitidas para cada alimento (REILLY, 1996).

Devido ao fato do Se quando ingerido em níveis elevados poder ocasionar danos à saúde, foram desenvolvidos regulamentos que tem por objetivo delimitar os teores permitidos deste micronutriente nos alimentos. De acordo com o “*código de padrões alimentares da Austrália,*” Seção A9, os teores de Se permitidos dos alimentos variam de 0,2 a 2,0 mg kg<sup>-1</sup> de Se (Tabela 2).

**Tabela 2:** Código de normas alimentares Australiana referente à presença de Se nos alimentos

<b>Elemento</b>	<b>Alimento</b>	<b>Máxima concentração permitida nos alimentos (mg kg<sup>-1</sup>)</b>
<b>Selênio</b>	Bebidas e outros alimentos líquidos	0,2
	Alimentos de origem animal	2,0
	Todos os outros tipos de alimento	1,0

**Fonte:** Tabela adaptada de Reilly (1996).

Apesar da comprovada importância do Se para os seres humanos e animais e do estreito limite entre os teores benéfico e tóxico tanto para os seres humanos quanto para as plantas observa-se na literatura um escasso número de pesquisas em relação ao tema, sendo desta maneira necessário o desenvolvimento de estudos que visem o estabelecimento de doses, formas e épocas de aplicação mais adequada para as

diferentes culturas. O desenvolvimento de trabalhos de biofortificação agronômica em folhosas como a rúcula cultivadas em sistema hidropônico mostra-se de grande relevância, uma vez que esta cultura apresenta ciclo rápido, habilidade em acumular selênio e seu consumo vem crescendo ao longo dos anos. O cultivo hidropônico em ambiente protegido vem sendo amplamente utilizado para o cultivo de folhosas uma vez que permite o cultivo durante o ano todo e proporciona melhor manejo de fatores bióticos e abióticos favorecendo assim a produção contínua da cultura, fatores esses buscado pelos programas de biofortificação agronômica.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Época e caracterização do local**

O experimento foi conduzido de 23 de janeiro a 1 de março de 2017, em sistema hidropônico *nutrient film technique* (NFT), na UNESP, campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil, cujas coordenadas geográficas são 21°15'22" Sul, 48°18'58" Oeste, e altitude de 575 metros.

Durante o período experimental a temperatura e umidade (%) foram monitoradas diariamente através de uma miniestação meteorológica, posicionada na região central do interior da casa de vegetação. As temperaturas média, média das mínimas e média das máximas foram 34,8; 20 e 39,3 °C. A umidade relativa do ar média foi de 46% e as médias da mínima e máxima foram 45 e 89%, respectivamente.

#### **3.2 Tratamentos e delineamento experimental**

Foram avaliados sete tratamentos, correspondentes às concentrações de selênio (0, 10, 20, 30, 40, 50 e 60  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) na solução nutritiva, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Foi utilizado selenato de sódio como fonte de selênio. A unidade experimental foi constituída por bancada com quatro canais de 1,3m, reservatório de 100 L e uma bomba para circulação da solução nutritiva.

#### **3.3 Instalação e condução do experimento**

A rúcula 'Folha Larga' foi semeada em placas de espuma fenólica com dimensão de 2 x 2 x 2 cm previamente lavadas em água corrente por aproximadamente 10 minutos, de modo a eliminar qualquer tipo de resíduo presente. Durante o período de germinação essas placas permaneceram em casa de vegetação com sistema de aspersão sendo irrigadas somente com água (Figura 1). Sete dias após a semeadura, quando as plântulas apresentavam os cotilédones expandidos, as células da espuma fenólica foram individualizadas e as mudas foram transferidas para

canais de polipropileno, com 5 cm de largura, em sistema NFT. O fornecimento da solução nutritiva foi intermitente, alternando-se 15 minutos com circulação e 15 minutos sem circulação.

Os canais desta estrutura, denominada de “berçário” possuíam 5% de declividade. Este período foi denominado de fase 2 e correspondeu ao período de crescimento inicial das plantas, antes de seguirem para os canais definitivos. (Figura 2). Nessa fase, a solução nutritiva utilizada foi a proposta por Furlani (1998), com concentrações de 19,2 (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); 139,2 (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>); 31,2 (P); 144 (K); 114,0 (Ca); 32 (Mg) e 41,6 (S) mg L<sup>-1</sup>, correspondentes a 80% das concentrações originais dos macronutrientes. Os micronutrientes foram aplicados nas concentrações recomendadas pelo autor, sendo elas, 0,3 (B); 0,02 (Cu); 2,0 (Fe); 0,40 (Mn); 0,06 (Mo) e 0,06 (Zn) mg L<sup>-1</sup>.

As plantas foram transferidas ao canal definitivo (fase 3), quando apresentavam duas folhas completamente expandidas, no espaçamento de 0,25 m entre canais e 0,05 m entre plantas.

A aplicação dos tratamentos teve início uma semana após a transferência para os canais definitivos (fase 3). As plantas foram colocadas em canais de 10 cm de diâmetro, correspondentes a tubos de PVC cortados longitudinalmente e cobertos com papel Tetra Pak®. O bombeamento da solução foi realizado de maneira contínua por bombas hidráulicas submersas (uma por reservatório) da marca Chosen®, modelo Power Head CX-300, com vazão de 1000 L h<sup>-1</sup>, via mangueira. O acionamento das bombas foi controlado por um temporizador, com circulação da solução nutritiva das 7 h às 18 h (Figura 3).

Diariamente foram monitorados o pH e a condutividade elétrica (CE), utilizando-se de potenciômetro e condutivímetro digital. O pH foi mantido entre 5,5 e 6,5, utilizando-se hidróxido de sódio e ácido fosfórico, para aumentar e reduzir o pH respectivamente. A solução nutritiva foi renovada quando a CE dos tratamentos atingia 75% da CE inicial (dS m<sup>-1</sup>). Foram realizadas duas renovações durante a condução do experimento.





**Figura 1:** Plântulas de rúcula, cultivadas em espuma fenólica.



**Figura 2:** Mudras de rúcula durante a fase 2 (berçário).



**Figura 3:** Rúcula durante a fase 3.

### 3.4 Características avaliadas

Na colheita da rúcula foram avaliados:

a) Altura das plantas (cm): com o auxílio de uma trena graduada foi obtida a altura das plantas, medindo-se do colo da planta até o ápice da parte aérea.

b) Número de folhas: contagem do número de folhas por planta.

c) Área foliar (cm<sup>2</sup> por planta): com o auxílio do aparelho LI-COR 3100.

d) Massa fresca da parte aérea (g por planta): as plantas de cada parcela foram colhidas e imediatamente pesadas.

e) Massa seca da parte aérea (g por planta): a parte aérea das plantas foram lavadas em água corrente, água mais solução detergente e, posteriormente, em água deionizada, secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até atingirem massas constantes e em seguida pesadas.

f) Massa seca da raiz (g por planta): Foram coletados 50 cm do sistema radicular de cada canaleta totalizando 200 cm de raiz por parcela. As raízes foram lavadas e secas conforme procedimento descrito para massa seca da parte aérea, e pesadas.

g) Teor de macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>) e micronutrientes (mg kg<sup>-1</sup>): a massa seca da parte aérea foi moída e realizados procedimentos para análise dos nutrientes de acordo com metodologia proposta por Miyazawa et al. (2009).

h) Teor de Selênio (µg kg<sup>-1</sup>): O Se foi analisado por espectrofotometria de absorção atômica com atomização por forno de grafite (GFAAS), em extrato obtido pela digestão ácida, usando ácido nítrico, segundo método 3051A da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1998).

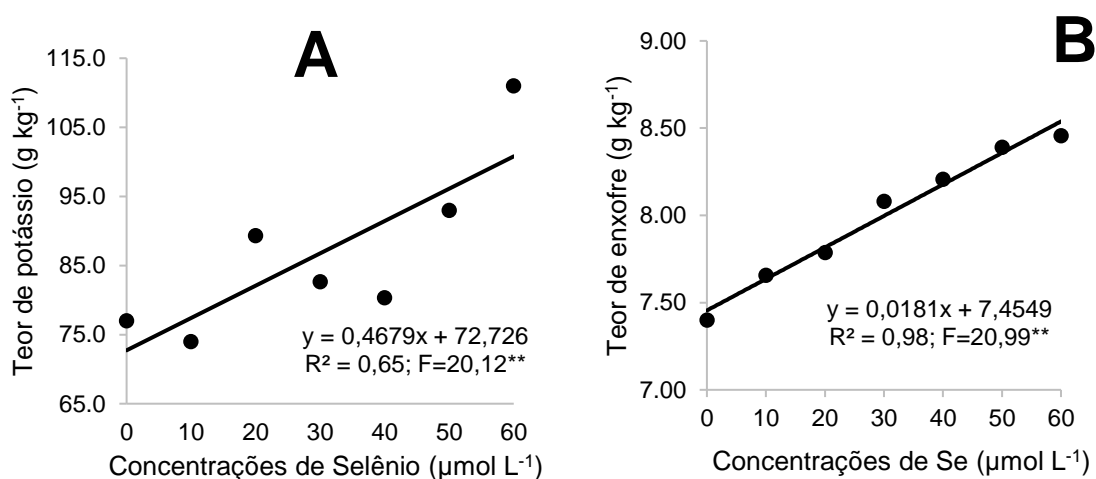
### 3.5 Análise estatística

Foi realizado a análise de variância dos dados e o estudo de regressão. Foram adotadas equações significativas e com maior coeficiente de determinação. O programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2014), foi utilizado.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Estado nutricional e teor de Se

Dentre os macronutrientes, somente K (Figura 4A) e S (Figura 4B) foram influenciados pelas concentrações de Se. Os demais não foram influenciados, assim como os micronutrientes. Na Tabela 3 encontram-se os teores foliares observados para os nutrientes.

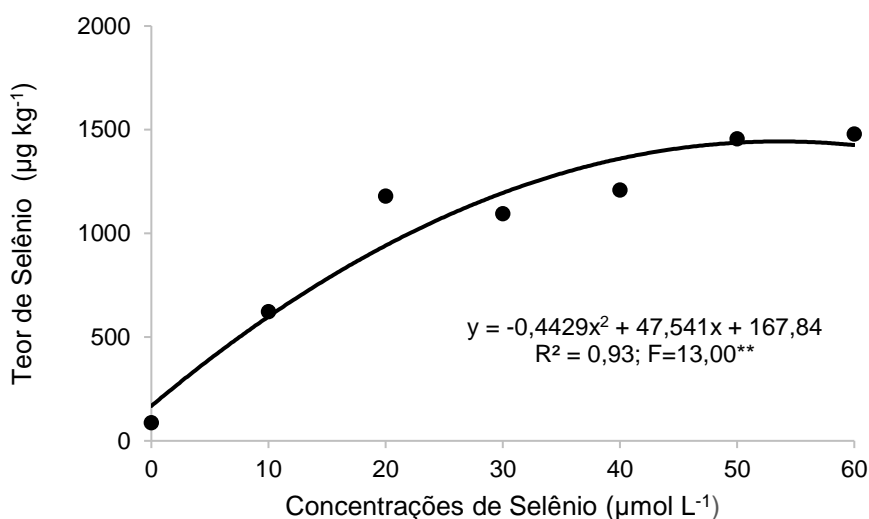


**Figura 4:** Teor foliar de potássio (A) e de enxofre (B) em plantas de rúcula em resposta a concentrações de selênio.

**Tabela 3:** Faixas de teores foliares na rúcula observados com as concentrações de selênio na solução nutritiva.

N	P	Ca	Mg	K	S
.....g kg <sup>-1</sup> .....					
42,9 - 46,0	4,5 - 5,0	24,6 - 26,7	6,2 - 6,8	77 - 111	7,4 - 8,5
B	Cu	Fe	Mn	Zn	
.....mg kg <sup>-1</sup> .....					
74,4 - 88,7	3,7 - 5	400 - 466,7	166,7- 216,7	300	

O teor foliar de Se apresentou ajuste quadráticos em resposta às concentrações de Se na solução nutritiva. O máximo teor estimada de Se foi de 1443,47  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , na concentração 54  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Se. (Figura 5).

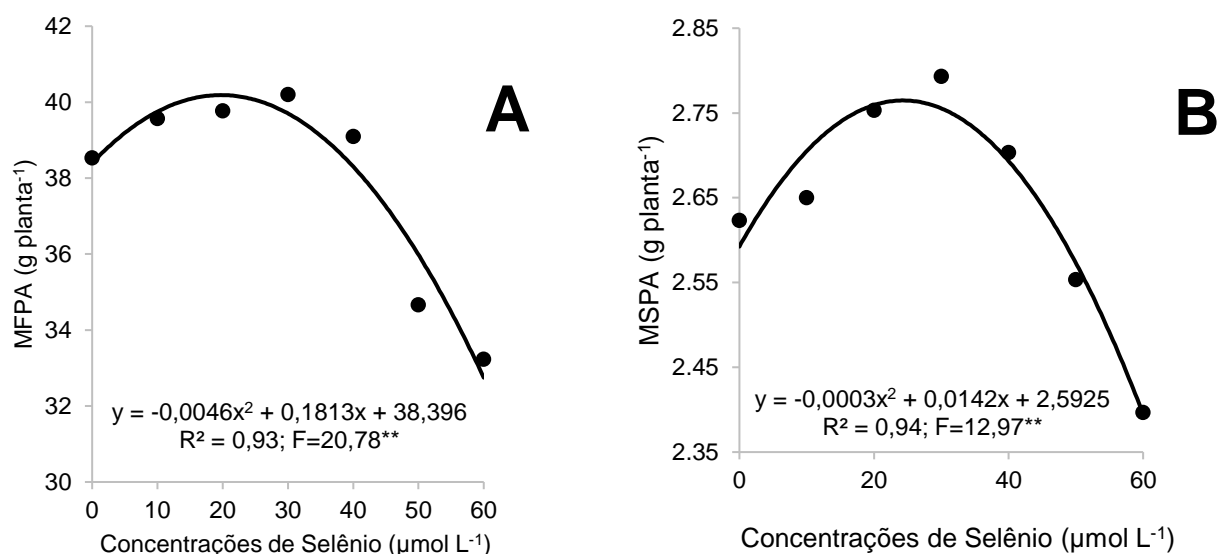


**Figura 5:** Teor foliar de selênio em plantas de rúcula em resposta às concentrações de selênio na solução nutritiva.

## 4.2 Crescimento e produtividade

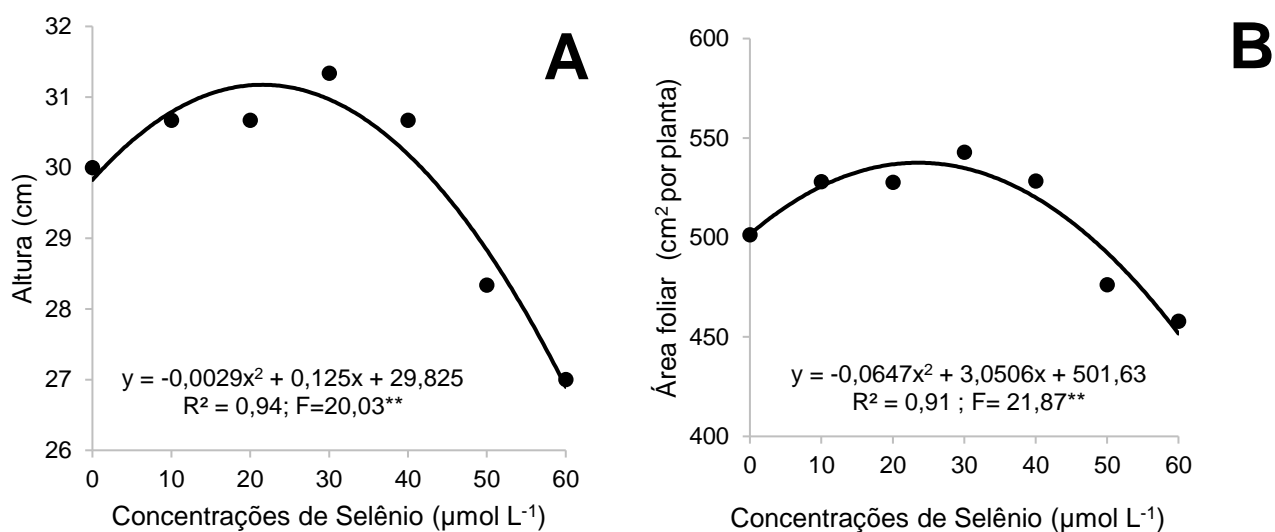
Altura (ALT), número de folhas (NF), área foliar (AF), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e produtividade (PROD) foram influenciados pelas concentrações de Se na solução nutritiva.

A MFPA e MSPA apresentaram ajustes quadráticos em resposta às concentrações de Se (Figuras 6A e 6B). A máxima MFPA estimada foi de 40,19  $\text{g planta}^{-1}$ , na concentração 20  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Se, a partir da concentração 40  $\mu\text{mol L}^{-1}$  a MFPA passou a ser inferior à obtida no tratamento sem aplicação de Se, notando-se efeito tóxico às plantas. A máxima MSPA estimada foi de 2,8  $\text{g planta}^{-1}$  obtida na concentração 24  $\mu\text{mol L}^{-1}$  e a partir da concentração e 49  $\mu\text{mol L}^{-1}$  observa-se efeito negativo sobre as plantas.

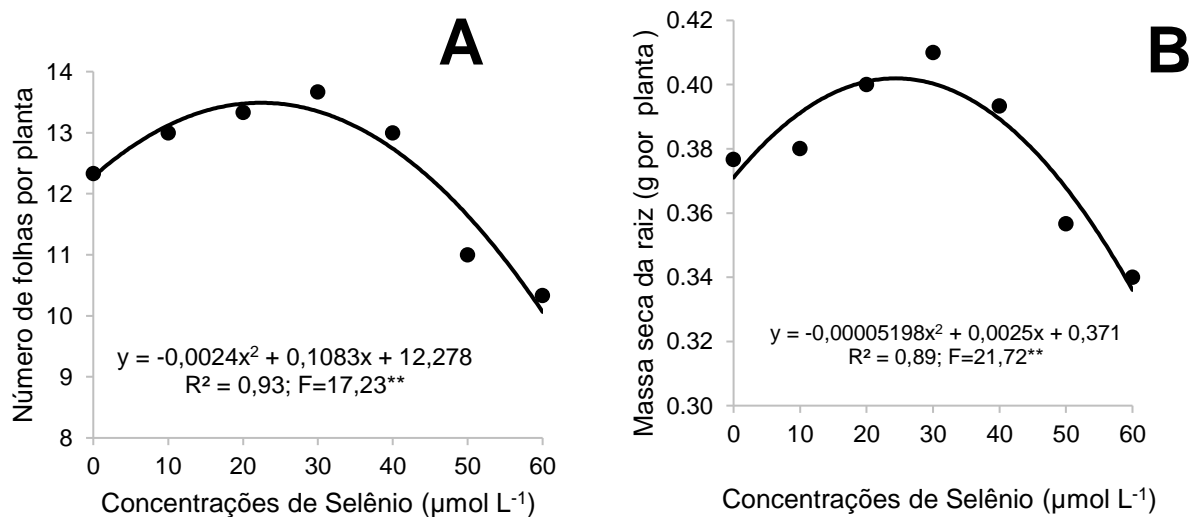


**Figura 6:** Massa fresca (A) e seca (B) da parte aérea de plantas de rúcula em resposta às concentrações de selênio

A ALT respondeu às concentrações de Se apresentando máxima estimada de 31,2 cm na concentração 22 μmol L<sup>-1</sup> (Figuras 7A). A partir da dose estimada 44 μmol L<sup>-1</sup> a ALT passa a ser inferior a obtida no tratamento sem a aplicação de Se, podendo-se assim inferir que plantas de rúcula submetidas a concentrações iguais ou superiores a 44 μmol L<sup>-1</sup> passam a apresentar sintomas de toxicidade que resultam na produção de plantas menores. A AF foi máxima foi de 537,6 cm<sup>2</sup> com 24 μmol L<sup>-1</sup> (Figura 7B), a partir da dose estimada 48 μmol L<sup>-1</sup> passa a ser observado efeito tóxico. Máximo número de folhas, 13,5 por planta, foi obtida na concentração 22 μmol L<sup>-1</sup>. A partir de 45 μmol L<sup>-1</sup> as concentrações de Se na solução nutritiva foram tóxicas às plantas (Figura 8A). A MSR, de forma semelhante às outras características, apresentou ajuste quadrático, com biomassa máxima estimada de 0,402 g planta<sup>-1</sup> na concentração de 24 μmol L<sup>-1</sup> (Figura 8B).

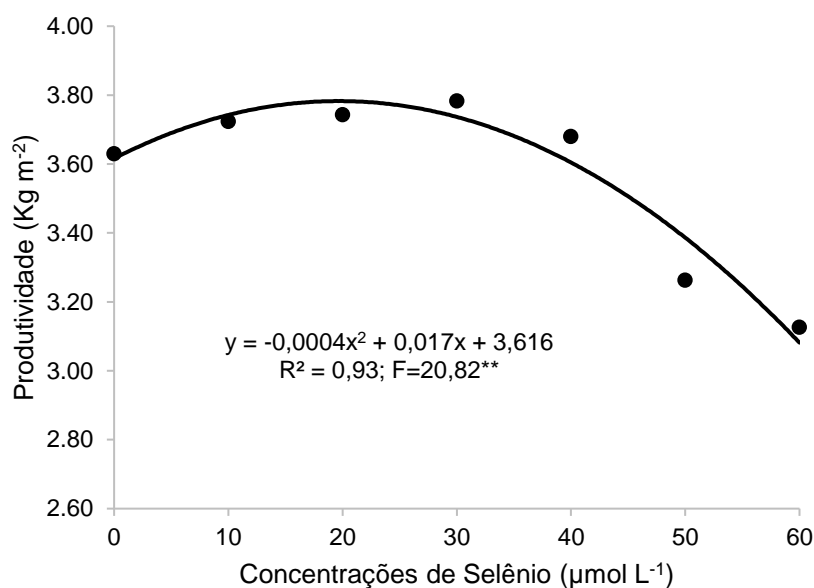


**Figura 7:** Altura (A) e área foliar (B) das plantas de rúcula em resposta às concentrações de selênio.



**Figura 8:** Número de folhas (A) e massa seca da raiz (B) das plantas de rúcula em resposta às concentrações de selênio

A maior PROD estimada ( $3,78 \text{ kg m}^{-2}$ ) foi obtida com  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$  (Figura 9).



**Figura 9:** Produtividade da rúcula em resposta às concentrações de selênio na solução nutritiva.

## 5 DISCUSSÃO

De modo geral, aumento no fornecimento de Se não tem causado modificações consistentes no estado nutricional de plantas, exceto para S. Na literatura observa-se que aumentos no fornecimento de Se tem proporcionado incremento no teor de S (RAMOS et al., 2011a; BOLDRIN et al., 2012).

O Se por apresentar semelhança química ao S utiliza dos transportadores de sulfato para ser absorvido (WHITE, 2016).

Todas as características agrônômicas avaliadas apresentaram incrementos quando a planta foi cultivada com baixas concentrações de Se, nestes casos sempre abaixo de 40 μmol L<sup>-1</sup>. O efeito benéfico pode estar relacionado ao incremento na atividade antioxidante estimulada pela presença do Se e na modulação de uma série de enzimas responsivas ao estresse, que auxiliam na redução de peróxidos de hidrogênio e protegem as células de danos causados por espécies reativas ao oxigênio (LIN et al., 2012; NAZ et al., 2015). Pode-se considerar que a rúcula estava sob estresse térmico, pois foram observadas temperaturas altas (média de 34,8°C, e

39,3°C como média de temperaturas máximas) durante o experimento. De acordo com Filgueira (2012), a rúcula é uma espécie cujo crescimento é beneficiado por temperaturas entre 15 e 18°C. Citam-se, ainda, outros efeitos diretos do Se no conteúdo de carboidratos, na condutância estomática e nos pigmentos fotossintetizantes, além de melhorar a taxa de transporte de elétrons (CHEN et al., 2008; MALIK et al., 2012; OWUSU-SEKYERE et al., 2013; DIAO et al., 2014; HAJIBOLAND; SADEGHZADE, 2014; NAWAZ et al., 2014; ZHANG et al., 2014; SIEPRAWKA et al., 2015).

Adicionalmente, há a contribuição indireta do Se no maior crescimento das plantas, devido ao incremento de alguns nutrientes, sobretudo o S (Figura 4B). A rúcula é uma espécie da família Brassicaceae, que reconhecidamente apresenta alta demanda de S (MARSCHNER, 2012; SANTOS et al., 2017). Altos teores de S resultam em benefícios ao desenvolvimento das plantas, pelo fato deste nutriente ser o responsável pela formação de ligações do tipo dissulfeto em aminoácidos essenciais cisteína e metionina, que resultam na maior estabilidade estrutural das proteínas, que favorecem o crescimento e a produção (NELSON; COX, 2014). Além da função estrutural, o S também apresenta importantes funções enzimáticas em processos como a fotossíntese, a fixação biológica do N e a respiração (SOARES et al., 2017). O efeito do Se no aumento de K pode ter contribuído para melhor controle na perda de água por esta hortaliça, favorecendo ao metabolismo mesmo sob condições de alta temperatura. O K é o nutriente mais acumulado pela rúcula (PORTO et al., 2013)

Todo esse conjunto de ações direta ou indiretamente do Se colaborou para maior crescimento e produtividade da rúcula. Máxima produtividade estimada foi obtida com 20  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Se na solução nutritiva e teor estimado de 941,49  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de Se na folha, o que proporcionou incremento de 461% em relação ao teor estimado apresentada pelas plantas que não receberam Se na solução.

Por outro lado, quando plantas foram cultivadas em solução nutritiva com concentrações superiores a 40  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , houve completa modificação no efeito do Se, passando a ser prejudicial à rúcula. O resultado observado corrobora aos de vários outros autores, com diferença para a concentração de Se que provoca tal toxicidade. Ríos et al. (2013), trabalhando com a cultura do alface e utilizando o selenato de sódio como fonte de selênio, constataram redução de 13% no crescimento (parte aérea), ao



aplicar doses superiores a  $80 \mu\text{mol L}^{-1}$ . Hawrylak-Nowak et al. (2015) observaram que em baixas concentrações ( $6\text{-}20 \mu\text{mol L}^{-1}$ ), plantas de pepino apresentaram aumento significativo no crescimento da parte aérea e radicular, entretanto, quando submetidas a concentração de  $80 \mu\text{mol L}^{-1}$ , as plantas passaram a apresentar redução de 15% no crescimento da parte aérea e de 21% na raiz. Hawrylak-Nowak (2013) obteve redução de 15,7% na massa seca da parte aérea em plântulas de alface 'Justyna', quando utilizou a concentração de  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$  de Se. Já Ríos et al. (2008b), também com alface, obtiveram em concentrações maiores que  $40 \mu\text{mol L}^{-1}$  redução de 12,5% na massa seca da parte aérea.

A razão para o efeito negativo do Se no crescimento é que altas concentrações no meio de cultivo podem ocasionar a diminuição da absorção de S, por ambos terem os mesmos transportadores para absorção. Também, alta concentração no meio pode comprometer a assimilação do S. Em virtude do S e do Se apresentarem grande semelhança química, ambos possuem a mesma rota de transporte e assimilação (RAMOS et al., 2011a e 2011b). Conseqüentemente, em excesso na planta, pode formar selenocisteína e selenometionina, o que pode levar a má formação dos aminoácidos, perda de funcionalidade das proteínas e à disfunções metabólicas das enzimas, uma vez que a função exercida por ambas não é a mesma realizada pelos aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína) (HAWKESFORD; ZHAO, 2007; NELSON; COX, 2014). Outra consequência de altas concentrações de Se no meio é que sua elevada absorção pode levar à maior formação de espécies reativas de oxigênio, ocasionando desta maneira danos a membrana através da peroxidação lipídica, resultando conseqüentemente no menor crescimento da planta e produtividade (TERRY et al., 2000; CHEN et al., 2014).

Quanto à biofortificação agrônômica, a concentração de  $54 \mu\text{mol L}^{-1}$  de Se na solução nutritiva, concentração esta, que resultou na obtenção do maior teor foliar de Se, proporcionou incremento de Se na folha da rúcula de 760% em relação as plantas que não foram fertilizadas com Se, o que demonstrou grande afinidade da espécie em acumular o elemento.

Considerando o limite máximo de  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  de Se na massa seca, estabelecido pelo "código de padrões alimentares da Austrália e Nova Zelândia" (REILLY, 1996), para que a rúcula seja aceita para consumo *in natura*, deve-se usar solução nutritiva

com no máximo  $22 \mu\text{mol L}^{-1}$  de Se. Com esta concentração tem-se o máximo permitido para biofortificação da hortaliça, com perda de produtividade estimada de apenas 0,06% à máxima estimada obtida com  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

A partir de  $23 \mu\text{mol L}^{-1}$ , o teor de Se presente no alimento passa a ser superior ao estabelecidos pelas normas, não sendo recomendada para programas de biofortificação que tem por objetivo o consumo *in natura* do produto. Entretanto, no caso de se utilizar a rúcula biofortificada seca, como parte de suplementos, mixes alimentícios ou produtos industrializados, pode-se trabalhar com até  $49 \mu\text{mol L}^{-1}$  de Se na solução nutritiva, uma vez que ocorre redução de produtividade inferior a 10% da máxima obtida, mas com um produto com 52,3% maior teor de Se quando comparado ao teor alcançado na concentração de  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$  (concentração que apresentou maior produtividade).

A “*German, Austrian and Swiss Nutrition Societies*” estabeleceram valores de referência para a ingestão diária de Se em função da idade (KIPP et al., 2015). Considerando-se o teor de  $999,4 \mu\text{g kg}^{-1}$  de Se na massa seca de rúcula cultivada com  $22 \mu\text{mol L}^{-1}$  e que a planta de rúcula possui 93% de água, então o teor na massa fresca de rúcula é equivalente a  $69,96 \mu\text{g kg}^{-1}$  de Se. Admitindo-se o consumo de 40 a 100 g de rúcula em uma refeição de um adulto, então uma refeição com essa hortaliça biofortificada representará o consumo de 2,8 a 7,0  $\mu\text{g}$  de Se, ou seja 4% a 10 % da necessidade diária de um homem e 4,7 a 11,8% da necessidade diária de uma mulher.

## 6 CONCLUSÕES

Concentrações de Se maiores que  $40 \mu\text{mol L}^{-1}$  apresentam toxicidade às plantas.

O aumento de Se na solução nutritiva não afeta a absorção de N, P, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

O aumento de Se na solução nutritiva afeta positivamente a absorção de K e S

O aumento da concentração de Se na solução nutritiva resulta em aumento no teor de selênio na rúcula e conseqüentemente há biofortificação agrônômica.

A concentração de Se na solução nutritiva mais adequada para biofortificar a rúcula para o consumo *in natura* é de  $22 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFTHAN, G; ASPILA, P; EKHOLM, P; EUROLA, M; HARTIKAINEN, H; HERO, H; HIETANIEMI, V; ROOT, T; SALMINEN, P; VENÄLINEN, E.R; ARO, A. Nationwide supplementation of sodium selenate to commercial fertilizers: history and 25-year results from the finish selenium monitoring programme. In: THOMPSON, B.; AMBROSO, L. (Ed.). **Combating micronutrient deficiencies: food-based approaches**. Cambridge: CABI, chap. 17, p. 312-338, 2011

ALFTHAN, G; EUROLA, M; EKHOLM, P; VENÄLÄINEN, E.R; ROOT, T; KORKALAINEN, K; HARTIKAINEN, H; SALMINEN, P; HIETANIEMI, V; ASPILA, P; ARO, A. 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**, New York, v. 31, n.1, p. 142- 147, 2015.

ALVES, C. Z.; SÁ, M. E.; Avaliação do vigor de sementes de rúcula pelo teste de lixiviação de potássio. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 108-116, 2010.

ARO, A.; ALFTHAN, G.; VARO, P. Effects of supplementation of fertilizers on human selenium status in Finland. **Analyst**, Helsinki, v. 120, n. 3, p. 841-843, 1995.

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

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos - versão 1.1.0.711. 2014. **Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista**, 2014.

BENEMARIYA, H.; ROBBERECHT, H.; DEELSTRA, H. Daily dietary intake of copper, zinc and selenium by different population groups in Burundi, Africa. **Sci. Total Environ**, v. 136, n.1, p 49–76, 1993

BOLDRIN, P.F; FAQUIN V; RAMOS S. J; GUILHERME L. R.G; BASTOS C. E.A; CARVALHO, G.S; COSTA, E.T.S. Selenato e selenito sobre produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. **Pesq. Agrop. Brasileira**. Brasília, v. 47, n.6, p. 831 – 837, 2012.

**CEAGESP - Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo.** Disponível em: <<http://www.ceagesp.gov.br/comunicacao/noticias/rucula-e-o-produto-indicado-da-semana/>> Acesso em: 08 set. 2017.

CHEN, T. F; ZHENG W.J; WONG, Y.S; YANG F. Selenium induced changes in activities of antioxidant enzymes and content of photosynthetic pigments in *Spirulina platensis*. **Journal of Integrative Plant Biology**, New York, v. 50, n.1, p. 40-48, 2008

CHEN, Y; MO, H.Z; HU, L.B; LI, Y.Q; CHEN, J; YANG, L.F The endogenous nitric oxide mediates selenium-induced phytotoxicity by promoting ROS generation in Brassica rapa. **PLoS One**. São Francisco, v.9, n.10, e110901, 2014

DHILLON, K.S.; DHILLON, S.K. Quality of underground water and its contribution towards selenium enrichment of the soil-plant system for a seleniferous region of northwest India. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 272, n.1-4, p.120–130, 2003

DIAO, M. et al. Selenium promotes the growth and photosynthesis of tomato seedlings under salt stress by enhancing chloroplast antioxidant defense system. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 33, n. 3, p. 671-682, 2014.

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

FAIRWEATHER-TAIT, S.J; BAO, Y; BROADLEY, M.R; COLLINGS R; FORD, D; HESKETH, J.E; HURST,R. Selenium in human health and disease. **Antioxid Redox Signal**, v.14, n.7, p. 1337–1383, 2011

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

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

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 412p

FISHBEIN, L. II25 selenium. In: MERIAN, E. (Ed.). **Metals and their compounds in the environment**: occurrence, analysis, and biological relevance. New York: VCH  
Weiheim, 1991. p. 1153-1190

FURLANI, P. R. Instrução para o cultivo de hortaliça de folha pela técnica de hidroponia - NFT. **Campinas: Instituto Agrônomo**, 1998. 30p. (Documentos IAC, 168).

GALINHA, C; MARTINEZ, M.S; PACHECO, A.M.G; FREITAS, M. C; COUTINHO, J; MAÇÃS, B; ALMEIDA, A. S; CORONA, M. T. P; MADRID, Y; WOLTERBEEK, H.T. Characterization of selenium- enriched wheat by agronomic biofortification. **J Food Sci Technol**, Mysore, v. 52, n.7 p. 4236-4245, 2015

HATFIELD D. L., TSUJI P. A., CARLSON B. A., GLADYSHEV V. N. Selenium and selenocysteine: roles in cancer, health, and development. **Trends Biochem. Sci.** Amsterdam, v.39, n. 3, p.112–120, 2014.

HAJIBOLAND, R.; SADEGHZADEH, N.; SADEGHZADEH, B. Effect of Se application on photosynthesis, osmolytes and water relations in two durum wheat (*Triticum durum* L.) genotypes under drought stress. **Acta agriculturae Slovenica**, Ljubljana, v. 103, n. 2, p. 167-179, 2014.

HAWKESFORD, M. J.; ZHAO, F. J. Strategies for increasing the selenium content of wheat. **Journal of Cereal Science**, London, v. 46, n. 3, p. 282-292, 2007.

HAWRYLAK-NOWAK, B. Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. **Plant Growth Regulation**, The Hague, v.70, n.2, p.149-157, 2013.

HAWRYLAK-NOWAK B, MATRASZEK R, POGORZELEC M. The dual effects of two inorganic selenium forms on the growth, selected physiological parameters and macronutrients accumulation in cucumber plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, Warszawa, v.37, n. 2, p. 37-41, 2015.

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

JARDINA, L. L.; CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, M. C. C.; SANCHES, A. G.; ARAÚJO JÚNIOR, P. V. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 78-82, jan./mar. 2017.

JOY, E. J. M; BROADLEY, M.R; YOUNG, S.D; BLACK, C.R; Chilimba, A.D.C; ANDER, E.L; BARLOW, T.S; WATTS, M.J. Soil type influences crop mineral composition in MALAWI. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 505, n.1, p. 587–595, 2015.

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**, Stuttgart, v. 32, p. 195-199, Oct. 2015.

LENZ, M; FLOOR, G.H; WINKEL, L.H; ROMÁN-ROSS, G; CORVINI, P.F. Online preconcentration-IC-ICP-MS for selenium quantification and speciation at ultratrace levels. **Environmental Science and Technology**, Washington, v. 46, n. 21, p. 11988-11994, 2012.

LIN, L; ZHOU, W; DAI, H; CAO, F; ZHANG, G; WU, F. Selenium reduces cadmium uptake and mitigates cadmium toxicity in rice. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 235-236, n.1, p. 343 – 351, 2012.

LONGCHAMP, M; CASTREC-ROUELLE, M; BIRON, P; BARIAC, T. Variations in the accumulation, localization and rate of metabolization of selenium in mature Zea mays plants supplied with selenite or selenate. **Food Chemistry**, London, v. 182, n.1, p. 128-135, 2015.

MALAGOLI, M; SCHIAVON, M; DALL'ACQUA, S; PILON-SMITS, E.A. Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. **Frontier Plant Science**, Lausanne, v.6, article 280, 2015.

MALIK, J. A; GOEL, S; KAUR, N; SHARMA, S; SINGH, I; NAYYAR, H. Selenium antagonises the toxic effects of arsenic on mungbean (*Phaseolus aureus* Roxb.) plants by restricting its uptake and enhancing the antioxidative and detoxification

mechanisms. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 77, n.1, p. 242-248, 2012

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

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A; KOSEGARTEN, H; APPEL, T. Elements with More Toxic Effects. In: MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 2001. v.5, cap 20, p. 657-673

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 2009. v.2, cap 1, parte 2. 107-184 p.

MIZUTANI, T., KISHIMOTO, M., YAMADA, K. Selenium levels in Chinese plants relating to the Travels of Marco Polo, in Fifth International Symposium on Selenium in Biology and Medicine, Abstracts, July 20-23, 1992, Vanderbilt University , Nashville, TN, p. 143

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**, Barking, v.185, n.1, p. 441 – 448, 2015

NAWAZ, F; ASHRAF, M.Y; AHMAD, R; WARAICH, E.A; SHABBIR, R.N. Selenium (Se) regulates seedling growth in wheat under drought stress. **Advances in Chemistry**, Cairo, v. 2014, n.1, p. 1-8, 2014.

NELSON, D.L; COX, M.M. Aminoácidos, Peptídeos e proteínas. In: Princípios de Bioquímica de Lehninger Princípios de Bioquímica. Porto Alegre: Artmed, v.6, cap 3, p. 75-114, 2014.

OLDFIELD, J. E. **Selenium world atlas**. Corvallis: Selenium-Tellurium Development Association, 2002. 159 p.

OWUSU-SEKYERE, A; KONTTURI, J; HAJIBOLAND, R; RAHMAT, S; ALIASGHARZAD, N; HARTIKAINEN, H; SEPPANEN, M.M. Influence of selenium (Se)



on carbohydrate metabolism, nodulation and growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). **Plant and Soil**, The Hague, v. 373, n.1, p. 541-552, 2013.

PORTO, R. A.; BONFIM, E. M.; SOUZA, D. S. M.; CORDOVA, N. R. M.; POLYZEL, A. C.; SILVA, T. J. A. Adubação potássica em plantas de rúcula: produção e eficiência no uso da água. **Revista agroambiente**, Boa Vista, v. 7, n. 1, p. 28-35, 2013.

PUCCINELLI M; MALORGIO F; PEZZAROSSA B. Selenium enrichment of horticultural crops. **Molecules**, v.22, n.6 p.933, 2017

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

RAMOS, S.J; RUTZKE, M.A; HAYES, R.J; FAQUIN, V; GUILHERME, L.R; LI L. Selenium accumulation in lettuce germplasm. **The Plant Journal**, Oxford, v. 233, n.1, p.649-660, 2011b.

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

RAYMAN, M.P. The use of high-selenium yeast to raise selenium status: How does it measure up? **British Journal of Nutrition**, v.92, n. 4, p. 557–573, 2004.

REIS, A.R.; MORAES, M.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L.R.G. Agronomic biofortification of upland rice with selenium to improve human health. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Muenchen, v. 27S1, p. 42-42, 2013.

REILLY C. **Selenium in Food and Health**, pp. 200–2020. London: Blackie Academic and Professional, 1996.

RÍOS, J. J; ROSALES, M.A; BLASCO, B; CERVILLA, L.M; ROMERO, L; RUIZ, J.M. Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.116, n.3, p.248-255, 2008a.

RÍOS, J. J; BLASCO, B; CERVILLA, L.M; ROSALES, M.A; SANCHES-RODRIGUEZ, E; ROMERO, L; RUIZ, J.M. Production and detoxification of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in lettuce plants

exposed to selenium. **Annals of Applied Biology**, London, v.154, n.1, p.107-116, 2008b.

RÍOS, J. J; BLASCO, B; LEYVA, R; SANCHEZ-RODRIGUES, E; RUBIO-WILHELMI, M.M; ROMERO, L; RUIZ, J.M. Nutritional balance changes in lettuce plant grown under different doses and forms of selenium. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.36, n.9, p.1344-1354, 2013.

ROMAN M., JITARU P., BARBANTE C. Selenium biochemistry and its role for human health. **Metallomics** v. 6, p. 25–54, 2014.

SANTOS, N., TEIXEIRA, N., VALIM, J., ALMEIDA, E., OLIVEIRA, M., & CAMPOS, W. Sulfur fertilization increases defense metabolites and nitrogen but decreases plant resistance against a host-specific insect. **Bulletin of Entomological Research**, 1-8, 2017.

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

SOARES, M. M.; BARDIVIESSO, D. M.; BARBOSA, W. F. S.; BARCELOS, M. N. Adubação de cobertura com enxofre na cultura da rúcula. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 49-52, 2017.

SOUZA, M. P; PILON-SMITS, E.A.H; LYTLE, C.M; HWANG, S; TAI, J; HONMA, T.S.U; YEY, L; TERRY, N. Rate-limiting steps in selenium assimilation and volatilization by Indian mustard. **Plant Physiology**, Tokville, v. 117, n. 4, p. 1487-1494, Aug. 1998.

TERRY, N; ZAYED, A.M; SOUZA, M.P; TARUN, A.S. Selenium in higher plants. **Annu. Rev. Plant Physiol and Plant Mol. Biol**, The Hague, v. 51, n.1, p. 401-432, 2000.

USEPA. Method 3051A. 1998. Disponível em <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>. Acesso em jan. 2018.

WHITE, P. J. Selenium accumulation by plants (Review). **Annals of Botany**, Oxford, v. 117, p. 213-235, 2016.

WINKEL, L.H; VRIENS, B; JONES, G.D; SCHNEIDER, L.S; PILON-SMITS, E; BAÑUELOS, G.S. Selenium cycling across soil-plant-atmosphere interfaces: a critical review. **Nutrients** v.7, n.6, p.4199- 4239, 2015

YANG, G.; WANG, S.; ZHOU, R.; SUN, S. Endemic selenium intoxication of humans in China. **Am. J. Clin. Nutr**, v.37, p. 872–881, 1983.

ZAYED, A. M.; LYTLE, C. M.; TERRY, N. Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. **Planta**, Springer, v. 206, n. 2, p. 284-292, 1998.

ZHANG, M; TANG, S; HUANG, X; ZHANG, F; PANG, Y; HUANG, Q; YI, Q. Selenium uptake, dynamic changes in selenium content and its influence on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in rice (*Oryza sativa* L.). **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 107, n.1, p. 39- 45, 2014.