



AMANDA SANTANA CHALES

**NITROGÊNIO E SELÊNIO EM RÚCULA: DA AVALIAÇÃO
NUTRICIONAL À BIOFORTIFICAÇÃO**

LAVRAS- MG

2022

AMANDA SANTANA CHALES

**NITROGÊNIO E SELÊNIO EM RÚCULA: DA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL À
BIOFORTIFICAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do solo e Nutrição de plantas para obtenção do título de mestre.

Prof^a. Dr^a. Maria Ligia De Souza Silva

Orientadora

Prof. Ph.D. Luiz Roberto Guimarães Guilherme

Coorientador

LAVRAS- MG

2022

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

Chales, Amanda Santana.

Nitrogênio e Selênio em rúcula: Da avaliação nutricional á
biofortificação / Amanda Santana Chales. - 2022.

37 p.

Orientador(a): Maria Lígia de Souza Silva.

Coorientador(a): Luiz Roberto Guimarães Guilherme.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. Eruca Sativa L. 2. selenato de sódio. 3. interação iônica. I.
Silva, Maria Lígia de Souza. II. Guilherme, Luiz Roberto
Guimarães. III. Título.

AMANDA SANTANA CHALES

**NITROGÊNIO E SELÊNIO EM RÚCULA: DA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL À
BIOFORTIFICAÇÃO**

**NITROGEN AND SELENIUM IN ARUGULA: FROM NUTRITIONAL ASSESSMENT
TO BIOFORTIFICATION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do solo e Nutrição de plantas para obtenção do título de mestre.

APROVADO em 14 fevereiro de 2022

Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho- UNESP- Jaboticabal

Dr. José Lavres Júnior – CENA-USP

Prof^a. Dr^a. Maria Ligia De Souza Silva

Orientadora

Prof. P.h.D. Luiz Roberto Guimarães Guilherme

Coorientador

LAVRAS- MG

2022

Aos meus pais Mario Gonçalves Chales e Magali Ferreira Santana Chales
e minha irmã Giovanna Santana Chales, por todo apoio ao longo dessa caminhada!

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças e nunca ter me desamparado ao longo dessa caminhada.

Aos meus pais, Mario e Magali, por serem minha base e meu porto seguro em todos os momentos, além do total apoio e carinho. Minha irmã Giovanna, por sempre ser luz na minha vida, me apoiar e ouvir.

A minha avó Adalgisa que mesmo longe nunca deixou de rezar por mim e me apoiar, a minha prima Ester por todo carinho e atenção.

A minha orientadora Maria Lígia, por toda compreensão, confiança, paciência, apoio, conselhos e conhecimentos transmitidos ao longo dessa jornada.

A minha amiga de infância Jéssica Medeiros, que mesmo longe sempre me apoiou e incentivou.

Às amigas que a UFRRJ me proporcionou ao longo da graduação e que mesmo distante são presentes, com todo carinho e apoio: Fernanda Garcia, Cyndi Ferreira, Fernanda Gabetto, Julia Barra, Maria da Glória e Talita Matos.

Ao meu grande amigo Júlio César Ribeiro, por todo apoio e conselhos através de mensagens e ligações.

As minhas companheiras da “casinha”, Ana Luíza e Maria Cecília, e as agregadas Ane Caroline e Moniky, por serem tão companheiras, com todo carinho e atenção, em todos os momentos.

Ao meu amigo Fabricio Gomes, por todo apoio, carinho, compreensão, companheirismo, conversas.

Aos amigos que a UFLA e o Laboratório de nutrição mineral de plantas me proporcionaram, em especial ao Edinei e João Renato.

À Aline por me ajudar em diversas etapas ao longo do desenvolvimento desse trabalho, no laboratório de nutrição mineral de plantas.

À banca pela disponibilidade.

Aos professores do curso de pós-graduação em Ciência do Solo, pelos conhecimentos transmitidos ao longo das aulas.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo pela estrutura para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Conselho nacional de desenvolvimento científico e tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa para a realização dessa pesquisa. A Fundação de Amparo à Pesquisa do

Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

A todos que contribuíram direta e indiretamente ao longo dessa caminhada.

Muito obrigada!

RESUMO

O selênio (Se) é considerado um elemento essencial para o organismo humano e animal, desempenhando importantes funções. No entanto, a sua disponibilidade para a nutrição humana depende, dentre outras fontes, da absorção e do acúmulo pelas plantas, podendo produzir alimentos que serão fontes deste elemento. Todavia, para que ocorra adequada absorção, torna-se de suma importância compreender a dinâmica e a interação deste elemento com os nutrientes. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento de plantas de rúcula (*Eruca sativa* L.), os teores de macro, micronutrientes e Se em função da interação entre N e Se, tendo em vista a biofortificação agrônômica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Lavras- MG. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x3 com quatro repetições, sendo as plantas de rúcula (cv. Folha larga) submetidas a doses de N (0; 150 e 300 mg dm³) e doses de Se (0; 0,5 e 1,0 mg dm³). Após 30 dias do transplante, realizou-se a colheita das plantas. Para a determinação do teor de N, realizou-se digestão sulfúrica seguida do método semi-micro Kjeldahl. A extração do Se e demais nutrientes avaliados, foi realizada através da digestão nítrico perclórica em bloco digestor, os teores foram determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e análises de regressão polinomial ($p \leq 0,05$). Todas as análises foram realizadas no software R versão 4.0.3. Não houve interação de N e Se para massa fresca de rúcula. Dentre os macros e micronutrientes avaliados, apenas o teor de N foi influenciado pela interação N e Se, e à medida que foram aplicadas maiores doses de Se, houve redução do teor de N nas plantas de rúcula. Contudo ao avaliar os efeitos do N e Se isolados, houve aumento no acúmulo de Se e de S à medida que foram aplicadas as doses crescentes de Se, demonstrando sinergismo entre o N e o Se. Com relação aos micronutrientes, houve redução no teor de zinco, quando aplicadas doses crescentes de N e de Se. De modo geral, as plantas de rúcula apresentaram adequado desenvolvimento, sendo uma cultura com alto potencial para ser utilizada na biofortificação agrônômica, considerando o acúmulo de Se.

Palavras-chave: *Eruca Sativa* L. Interação iônica. Selenato de sódio.

ABSTRACT

Selenium (Se) is considered an essential element for humans and animals, performing essential functions. However, its availability for human nutrition depends on the absorption and accumulation by plants, which impacts their ability to produce food that will be food sources of this element. Hence, it is crucial to understand the dynamics and interaction of this element with other nutrients to understand how adequate Se absorption occurs. The present research aimed to evaluate the development of arugula plants (*Eruca sativa* L.), macro, micronutrient, and Se contents as a function of the interaction between N and Se, with the goal of agronomic biofortification. The experiment was carried out in a greenhouse at the Department of Soil Science at UFLA, Lavras-MG. The experimental design was completely randomized, in a 3x3 factorial scheme with four replications, with arugula plants (cv. Folha Larga) receiving doses of N (0; 150 and 300 mg dm³) and doses of Se (0; 0.5 and 1.0 mg dm³). After 30 days of transplanting, the plants were harvested as aboveground biomass. Sulfuric digestion was carried out in plant samples, followed by the semi-micro Kjeldahl method to determine N content. Se and other nutrients evaluated were extracted through nitro perchloric digestion in a digester block, and contents were determined by plasma optical emission spectrometry. Data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and polynomial regression analysis ($p \leq 0.05$). All analyzes were performed using R software version 4.0.3. There was no interaction of N and Se for arugula's fresh biomass. Among the macro and micronutrients evaluated, only N content was influenced by N and Se interaction. As higher doses of Se were applied, there was a reduction in the N content in arugula plants. However, when evaluating the effects of isolated N and Se, there was an increase in the accumulation of Se and S as increasing doses of Se were applied, indicating synergism between S and Se. Regarding micronutrients, there was a reduction in zinc content when increasing doses of N and Se. In general, arugula plants showed adequate development, being a crop with a high potential to be used in agronomic biofortification, considering the accumulation of Se.

Keywords: *Eruca Sativa* L. Ionic interaction. Sodium selenate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matéria fresca da parte aérea (A e B) e matéria seca da parte aérea (C e D) da rúcula em função das doses de N e Se aplicadas.	21
Figura 2 - Teor e acúmulo de N e Se na matéria seca da rúcula em função das doses de N e Se aplicadas.....	23
Figura 3 - Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na matéria seca da rúcula em função das doses de N e Se aplicadas.....	26
Figura 4 - Teores de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B) na matéria seca da rúcula em função das doses de N e Se aplicadas.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Produção de hortaliças no Brasil	14
2.1.1	Rúcula.....	14
2.2	A biofortificação agronômica e a nutrição mineral de plantas	15
2.3	Interação selênio x nitrogênio	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1	Condução do experimento	18
3.2	Delineamento experimental	18
3.3	Correção e adubação do solo	18
3.4	Plantio e colheita.....	19
3.5	Análise dos parâmetros de crescimento e análise química das plantas de rúcula.....	19
3.6	Análise estatística	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1	Massa fresca e seca da parte aérea de rúcula	21
4.2	Teor e acúmulo de N e Se.....	23
4.3	Teores de P, K, Ca, Mg e S	24
4.4	Teores de Cu, Fe, Mn, Zn e B.....	28
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

O fornecimento de alimentos funcionais, considerando uma alimentação nutritiva e equilibrada tem se tornado cada vez mais um desafio, principalmente com o crescente aumento populacional, e os diversos nutrientes que desempenham papel fundamental no organismo humano e animal, e que possuem fontes e acesso limitados devido a sua biodisponibilidade.

Estima-se que 2 bilhões da população mundial seja afetada por alguma deficiência nutricional (FAO,2017). Dentre os nutrientes que apresentam maior evidência de deficiência em humanos, destacam-se o ferro (Fe), zinco (Zn), vitamina A, iodo (I) e selênio (Se), sendo pelo menos 1 bilhão de pessoas acometidas por deficiência em selênio. (JONES et al., 2017; HAWRYLAK-NOWAK, 2013; HOSSAIN et al., 2021; MORAES, 2008).

O selênio (Se) é considerado micronutriente para o organismo humano e animal, participando de um conjunto de proteínas, desempenhando funções no sistema imunológico, no metabolismo dos hormônios da tireoide e nos sistemas antioxidantes, além da redução dos riscos de várias doenças (BOYD, 2001; HOSSAIN et al., 2021; MALAGOLI et al., 2015; NEWMAN et al., 2019; VENTURA et al., 2017).

A principal fonte de Se na cadeia alimentar ocorre através dos vegetais, entretanto nem todos conseguem fornecer a quantidade adequada desse nutriente. Alguns fatores, como a disponibilidade desse elemento no solo e a capacidade de absorção pelas plantas, impactam diretamente em sua deficiência nos vegetais e conseqüentemente nos alimentos, tendo em vista que a maior parte dos alimentos ingeridos são de origem vegetal (BAÑUELOS et al., 2017; WHITE e BROADLEY,2009) ou ainda, dependem indiretamente de produtos vegetais para sua obtenção.

Estratégias eficientes têm sido pesquisadas e realizadas a fim de mitigar as deficiências nutricionais humana, dentre elas destaca-se a biofortificação agrônômica, a qual consiste no aumento de elementos essenciais ao organismo humano e animais, através das culturas agrícolas, sendo uma forte aliada ao combate à desnutrição. Esse aumento pode ser realizado por meio do melhoramento genético de plantas, ou através da adubação, associando elementos não essenciais às plantas a fertilizantes concentrados, proporcionando aumento no teor desses elementos nas plantas e conseqüentemente nos alimentos, além de apresentar um baixo custo econômico (LYONS, 2010; BOUIS & SALTZMAN, 2017).

Alguns autores demonstram que a biofortificação agrônômica com Se é eficiente aumentando seus teores em partes comestíveis de plantas, como em alface (BUSINELLI et al., 2015; RAMOS et al., 2010), arroz (LESSA et al., 2020; REIS et al., 2018;), , cenoura

(OLIVEIRA et al., 2018), feijão (RAVELLO et al., 2021), rabanete (DA SILVA et al., 2020), tomate (BUSINELLI et al., 2015; SABATINO et al., 2021), trigo (BOLDRIN et al., 2016; RADAWEK et al., 2021).

De modo geral, as plantas são capazes de absorver e acumular elementos que não são essenciais, como ocorre com o Se. Todavia, existe grande variação entre as plantas em absorver Se, sendo classificadas como não acumuladoras (<100 mg kg na matéria seca), acumuladoras (100 a 1000 mg kg na matéria seca) e hiperacumuladoras (> 1000 mg kg na matéria seca) (ELLIS e SALT, 2003; BARILLAS et al., 2011). Dentre as plantas que apresentam características para serem acumuladoras de Se, destacam-se espécies da família Brassicaceae (YUAN et al., 2013), sendo a cultura da rúcula pertencente a essa família, apresentando um ciclo curto e um fácil manejo (FILGUEIRA, 2008).

O manejo da fertilidade do solo e a nutrição de plantas caminham juntos na agricultura, sendo o equilíbrio entre esses dois aspectos a chave para o adequado desenvolvimento das culturas, assim como para a biofortificação agronômica.

Através das interações iônicas, é possível compreender a dinâmica de elementos, sendo eles nutrientes ou não, os quais podem afetar a absorção, distribuição e a função destes nas plantas, podendo interferir em sua composição nutricional. Quando há desequilíbrio entre esses elementos, sendo por excesso ou deficiência, a produtividade das culturas assim como a geração de alimentos de boa qualidade nutricional são diretamente afetados.

A adubação nitrogenada é considerada de suma importância para as culturas, tendo em vista que o nitrogênio (N) é o macronutriente mais requerido pelas plantas, (CANTARELLA; MALAVOLTA, 2007). Alguns autores, já demonstraram que o selênio pode interferir no metabolismo do N, aumentando sua taxa de assimilação, devido a um aumento de enzimas nas rotas de assimilação desse nutriente (BOCCHINI et al., 2018; HAJIBOLAND & SADEGHZADE, 2014).

Na literatura, ainda são poucos os estudos com relação a interação N e Se, sendo necessário cada vez mais pesquisas para a compreensão da interação com relação a esses dois elementos, avaliando em como o desenvolvimento das plantas pode ser afetado, além de um melhor manejo da adubação com relação às doses aplicadas, principalmente em culturas que são de famílias consideradas acumuladoras de Se.

Dessa forma, objetivou-se no presente estudo, avaliar o desenvolvimento de plantas de rúcula (*Eruca sativa* L.), os teores de macro, micronutrientes e Se em função da interação entre N e Se, assim como o acúmulo de N e Se, tendo em vista a biofortificação agronômica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produção de hortaliças no Brasil

As hortaliças são consideradas um grupo de plantas alimentícias, com um alto valor nutricional, as quais apresentam formas versáteis de consumo, podendo ser consumidas cruas, cozidas, processadas, mais de 100 espécies de plantas se encaixam nesse grupo. Além disso, as hortaliças são classificadas como folhosas, flores, frutos, legumes, raízes, tubérculo, bulbo e haste (FILGUEIRA, 2008).

De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil- CNA (2021), a produção de frutas e hortaliças destaca-se principalmente na região sudeste do país, com 40,87% da produção total, em seguida a região nordeste ocupa o segundo lugar com 21,58%. O estado de Minas Gerais é considerado o segundo maior produtor nacional de hortaliças, com uma produção estimada de 4 milhões de toneladas em aproximadamente 120 mil hectares (SILVEIRA, 2019).

As hortaliças folhosas ganham destaque em sua produção, por apresentarem um ciclo curto de produção, além de um fácil manejo, com um retorno econômico mais rápido. Dentre essas hortaliças, a alface é a mais expressiva com relação ao consumo e economicamente, representando 41% da área total plantada, e uma movimentação de 80 milhões de reais com a comercialização de sementes no ano de 2020. A rúcula dentro do segmento é a segunda hortaliça folhosa mais consumida no país, representando 19% do total desse consumo (ABCSEM, 2021).

2.1.1 Rúcula

A rúcula (*Eruca sativa* L.) é uma hortaliça folhosa, pertencente à família brassicaceae, dentre suas características destacam-se as folhas alongadas, sabor picante e coloração verde escura, além disso, é considerada fonte de vitaminas. Sua produção é beneficiada em temperaturas amenas (15 a 25 °C), contudo essa cultura tem sido produzida ao longo do ano, sendo no sudeste recomendado que seja de março a agosto (FILGUEIRA, 2008).

Essa cultura era a terceira mais consumida até o ano de 2019, contudo, em 2020 assumiu a segunda posição dentre as hortaliças folhosas mais consumidas (ABCSEM, 2021). Esse aumento possivelmente pode estar associado a mudança de hábitos alimentares, modo de

consumo, tendo em vista a preparação de pratos mais elaborados, diversificação de saladas, consumo em pizzas, entre outros.

A plantas de rúcula por apresentarem um ciclo curto de produção, variando entre 40 e 50 dias (Filgueira, 2008), demandam uma maior atenção com relação a adubação, tendo em vista as doses a serem aplicadas, assim como as fontes, a fim de favorecer um equilíbrio nutricional e o desenvolvimento da cultura, associada a uma alta produtividade, além de uma eficiência de uso dos fertilizantes utilizados.

2.2 A biofortificação agronômica e a nutrição mineral de plantas

O estudo da nutrição mineral de plantas permite compreender a obtenção, utilização e dinâmica dos nutrientes pelas plantas (Fageria, 2001; Malavolta, 2006), sendo a interação dos nutrientes e o ambiente nos quais eles estão presentes de suma importância, tendo em vista que a produção agrícola é o resultado de fatores que possuem interdependência de bom desempenho entre si. Dessa forma, se um dos fatores possuir uma limitação, conseqüentemente todo o sistema de produção terá alguma alteração.

A capacidade da planta em absorver esses elementos, essenciais ou benéficos, se torna importante para o objetivo de melhorar a qualidade dos alimentos. Tanto pela melhor nutrição da planta, a fim de obter mais proteínas, vitaminas e antioxidantes, ou ainda, pela exploração da capacidade dessa planta em absorver e disponibilizar nutrientes (Boareto e Natale, 2016), de modo a suprir deficiências nutricionais em humanos.

Estudos relacionados a biofortificação de alimentos foram iniciados em 1993, sendo justificados pela elevada deficiência no consumo de micronutrientes, com objetivo de melhorar a qualidade dos alimentos por meio da agricultura, através do melhoramento genético vegetal e por técnicas agronômicas, como a adubação (WHITE e BROADLEY, 2005). No Brasil, pesquisas relacionadas a biofortificação tiveram início em 2003, em uma parceria entre o programa HarvestPlus e EMBRAPA.

A biofortificação agronômica permite o aumento nos teores de micronutrientes específicos em partes comestíveis das plantas, sendo essa uma estratégia eficaz ao suprimento desses elementos ao organismo humano (CAKMAK,2008).

Na literatura, alguns autores demonstram que a biofortificação agronômica é eficiente, aumentando os teores de elementos essenciais à nutrição humana em plantas, como iodo (CAKMAK et al., 2017; DOBOSY et al., 2020), zinco (CAKMAK e KUTMAN, 2018; CICCOLINI et al.,2017), selênio (GALIC' et al., 2021; REIS et al., 2020).

A nutrição mineral de plantas associada a biofortificação agronômica, permite um melhor manejo dos nutrientes que serão fornecidos via adubação para as plantas, e conseqüentemente aos alimentos, melhorando a qualidade nutricional. Além disso, através da nutrição de plantas é possível explorar e compreender as possíveis interações que ocorrem entre os elementos no solo e na planta, proporcionando resultados que expliquem as melhores formas de assimilação e absorção pelas plantas, principalmente os que não são considerados essenciais ao seu desenvolvimento, como o Se (FONTES, 2014).

2.3 Interação selênio x nitrogênio

O N é considerado um dos nutrientes mais requeridos pelas plantas e de maior importância, devido às estruturas das quais ele faz parte, como proteínas, ácidos nucleicos, diversas enzimas, hormônios vegetais, além da sua participação em processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, sendo a sua disponibilidade um fator limitante ao crescimento delas (CANTARELLA, 2007; MALAVOLTA, 2006; TAIZ et al., 2017).

No solo, o N se encontra predominantemente na forma orgânica, sendo 95 % do N total, e as principais formas inorgânicas de N encontradas e que são absorvidas pelas plantas são o nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+). Algumas reações que ocorrem no solo, podem interferir na eficiência do uso de N, como por exemplo, o processo de nitrificação, onde o N amoniacal é convertido em nítrico, o qual apresenta uma alta mobilidade no solo, favorecendo perdas por lixiviação. O N na forma de amônio tem um maior tempo de permanência nos solos, principalmente na zona radicular, além de estar em uma forma trocável e adsorvido pelas cargas negativas do solo, favorecendo sua absorção pelas plantas (BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000; RAIJ, 2011).

O Se quando disponível nos solos e em forma assimilável pelas plantas, pode influenciar em processos metabólicos ligados ao crescimento e desenvolvimento delas, sendo as formas de Se predominantes absorvidas pelas plantas, selenato (SeO_4^{2-}) e o selenito (SeO_3^{2-}). O selenato utiliza os mesmos transportadores e as mesmas vias de assimilação do sulfato (SO_4^{2-}), substituindo o S, podendo o Se favorecer a absorção de S, entretanto o S pode limitar a absorção de Se, dependendo das doses utilizadas (SORS et al, 2005; GUPTA; GUPTA; 2017).

O S está diretamente associado ao metabolismo de N, considerando que grande parte do N nas plantas está em formas de proteínas e o S é constituinte dos aminoácidos metionina e cisteína. Dessa forma, o Se também influencia o metabolismo do N nas plantas, de uma forma indireta, através do S.

Alguns estudos já demonstram que na presença de Se existe aumento no conteúdo de aminoácidos e proteínas nas plantas, e isso é resultante de maior taxa de assimilação de N, tendo em vista maior atividade de enzimas da rota de assimilação do N (HAJIBOLAND & SADEGHZADE, 2014; LARA et al., 2019; RIOS et al., 2010; XU et al., 2013). Além disso, a interação entre o N e o Se pode aumentar a produtividade de algumas culturas, como no trigo (SEREGINA et al., 2001), e ativação de enzimas no metabolismo de N em alface (RIOS et al., 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condução do experimento

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

Utilizou-se vasos de plástico com capacidade de 3 dm³, preenchidos com solo coletado da camada de 0-20 cm, de área experimental da Universidade Federal de Lavras, classificado como Latossolo vermelho distroférico, com textura argilosa. Realizou-se análises física (textura) e química de amostras de solo de acordo com Silva (2009) (Tabela 1).

Tabela1- Análise química e física do solo.

Identificação	pH	MO	P res	S-SO ₄ ⁻²	K	Ca	Mg	Al ³⁺	Al+H
		g dm ⁻³	--- mg dm ⁻³ ---		mg dm ⁻³		----- mmolc dm ⁻³ -----		
LVdf	5,53	9,87	23,85	1,74	19,68	0,59	0,08	0	14,45
	SB	T	t	V	m		Areia	Silte	Argila
		--- mmolc dm ⁻³ ---		----- % -----			----- % -----		
	1,17	15,62	1,17	7,51	0		19,8	7,8	72,4

P res- P extrator resina.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental realizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x3, com três doses de N (0; 150 e 300 mg dm³) e três doses de Se (0; 0,5 e 1,0 mg dm³), com quatro repetições, totalizando 36 parcelas experimentais. Como fontes de nitrogênio e selênio, utilizou-se ureia e selenato de sódio (Na₂SeO₄), respectivamente.

3.3 Correção e adubação do solo

Com base nas análises químicas do solo, realizou-se a correção do solo com calcário dolomítico (com poder de neutralização de 80%), incorporando-o no solo, elevando a saturação por bases a 80%. Após, o solo foi incubado por um período de 30 dias, com umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP).

A adubação realizada foi dividida em quatro parcelas, sendo uma adubação de plantio e três de cobertura. As doses de nitrogênio, enxofre, fósforo e potássio foram estabelecidas de acordo com recomendação de Malavolta (1981), para experimentos em condições de vaso.

Na adubação básica de plantio, aplicou-se 50 mg dm³ de enxofre na forma de sulfato de cálcio, 400 mg dm³ de fósforo, como fonte utilizou-se o superfosfato triplo e 75 mg dm³ de potássio na forma de cloreto de potássio. Juntamente com a adubação básica de plantio, aplicou-se metade das doses estabelecidas nos tratamentos com nitrogênio, na forma de ureia.

As doses de selênio foram aplicadas na adubação de plantio, na forma de selenato de sódio (Na₂SeO₄), em solução, considerando a sua mobilidade na planta e no solo. As doses de selênio foram estabelecidas a partir do valor máximo preconizado para o teor total do Se no solo de 5 mg dm⁻³, tendo em vista não ultrapassá-lo (CONAMA, 2009).

Foram realizadas três adubações de cobertura, quinze dias após a adubação de plantio, quando aplicaram-se 225 mg dm³ ao total de potássio na forma de cloreto de potássio. Aplicou-se também ao total 75 mg dm³ e 150 mg dm³ na forma de ureia, como fonte de nitrogênio, correspondendo ao restante da adubação com relação às doses estabelecidas. Realizou-se também na primeira adubação de cobertura a aplicação de micronutrientes, utilizando como fonte 1 ml dm³ da solução de micronutriente e ferro de Hogland e Arnon (1950).

Ao longo do experimento, a umidade do solo foi mantida a 60% do VTP, por meio da adição de água deionizada.

3.4 Plantio e colheita

As mudas de rúcula, cultivar Folha larga, as mudas foram produzidas em substrato e obtidas comercialmente. O transplantio ocorreu 20 dias após a semeadura. A colheita das plantas foi realizada 30 dias após o transplantio, totalizando 50 dias de experimento.

3.5 Análise dos parâmetros de crescimento e análise química das plantas de rúcula

As amostras de plantas de rúcula foram coletadas e compartimentadas em parte aérea e raiz. Foi realizado o peso da massa fresca da parte aérea. Após, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação forçada a 65° C, até atingirem peso constante, realizou-se peso de massa seca em gramas, após a secagem.

A abertura das amostras vegetais foi realizada através da digestão nitro perclórica em bloco digestor (MALAVOLTA et al., 1997, adaptado por SILVA JUNIOR et al., 2017), para

extração do Se e demais nutrientes. Para a extração e determinação do teor total de N realizou-se a digestão sulfúrica seguida do método semi-micro Kjeldahl.

Os teores de nutrientes e Se, foram determinados por espectrometria de emissão ótica com plasma.

3.6 Análise estatística

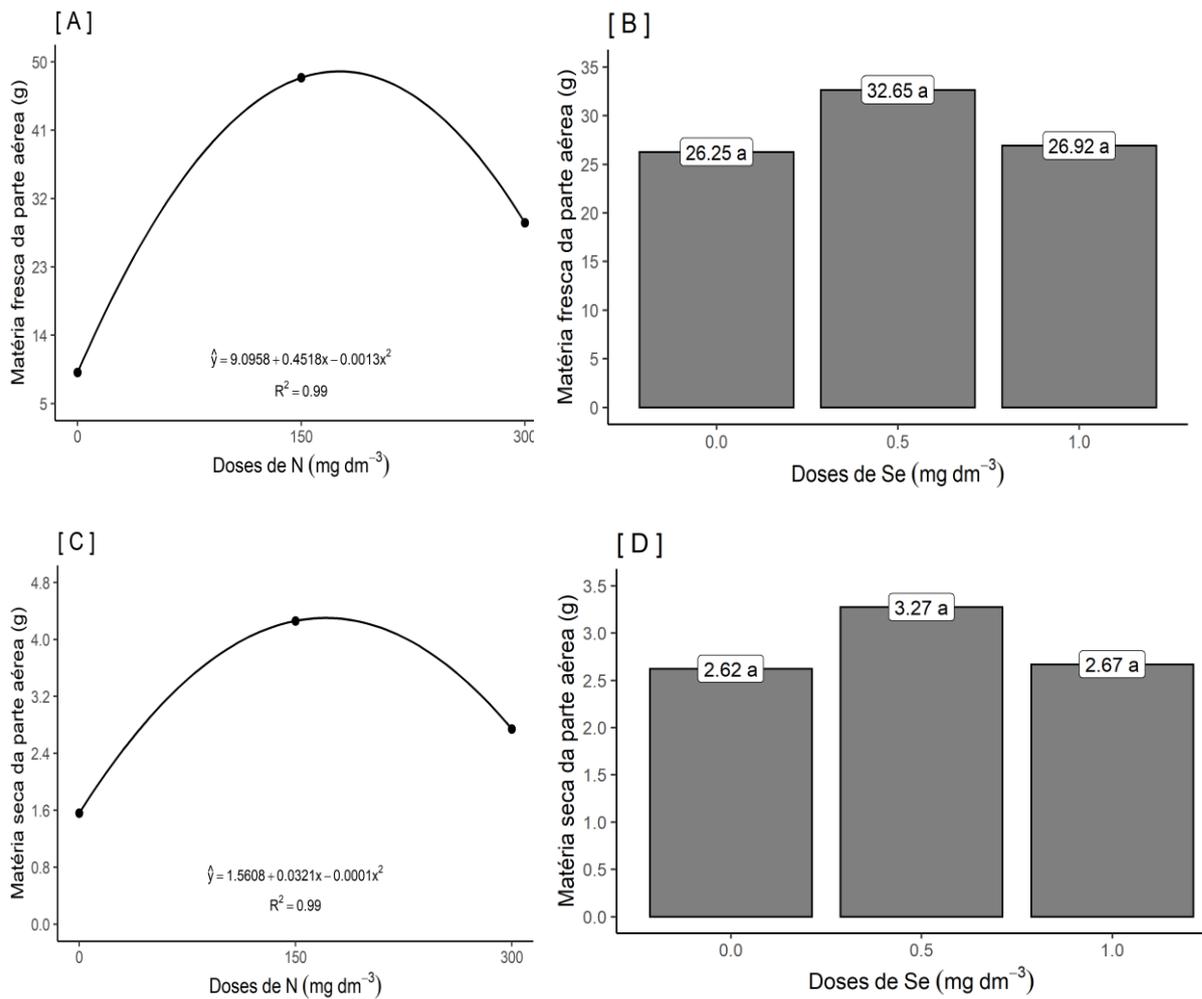
Os dados foram submetidos à análise de variância e análises de regressão polinomial ($p \leq 0,05$). Todas as análises foram realizadas no software R versão 4.0.3 (R Development Core Team, 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa fresca e seca da parte aérea de rúcula

A produção de massas fresca e seca da rúcula, não foram influenciadas pela interação N e Se ($p > 0,05$). Contudo, ocorreu influência das doses de N e Se quando avaliadas isoladamente. Maiores massas fresca (48,35 g) e seca (4,14 g) foram obtidas com 173,77 e 160,50 mg dm^{-3} de N, respectivamente (FIGURA 1A e 1C).

Figura 1 - Matéria fresca da parte aérea (A e B) e matéria seca da parte aérea (C e D) da rúcula em função das doses de N e Se aplicadas.



Ao serem fornecidas doses de N e Se, foi possível observar efeitos benéficos desses elementos na produção de massa fresca da rúcula, no entanto a maior dose de N (300 mg dm^{-3}) e Se ($1,0 \text{ mg dm}^{-3}$), não proporcionaram efeitos positivos às plantas, reduzindo a massa fresca e conseqüentemente a massa seca.

O N é considerado um elemento essencial às plantas, sendo o não fornecimento desse nutriente um fator limitante ao seu desenvolvimento, tendo em vista que ele faz parte de aminoácidos, proteínas, compostos orgânicos, ácidos nucleicos, hormônios e clorofila, influenciando diretamente na estrutura da planta, e conseqüentemente no seu desenvolvimento, crescimento e produtividade.

Nascimento et al., (2021), em seu estudo, demonstraram que o aumento no fornecimento de N, incrementou a massa fresca e a produtividade da rúcula.

Silva et al., (2021), observaram também que ao aumentar a concentração de N na solução nutritiva, houve uma resposta positiva com relação a área foliar, número de folhas e massa seca da parte aérea em plantas de rúcula.

Pereira et al., (2020), ao utilizar diferentes fontes de N na adubação, obtiveram em seus resultados uma maior produção de massa fresca quando as plantas de rúcula foram submetidas a ureia como fonte de N.

A rúcula demonstra ser uma cultura responsiva a adubação nitrogenada, todavia ao realizar adubação acima de doses adequadas, pode afetar negativamente o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

Em plantas de milho quando cultivadas na presença de Se, Bocchini et al., (2018) observaram que houve um aumento na parte aérea. Lara et al., (2019), obtiveram incremento no rendimento de grãos de trigo.

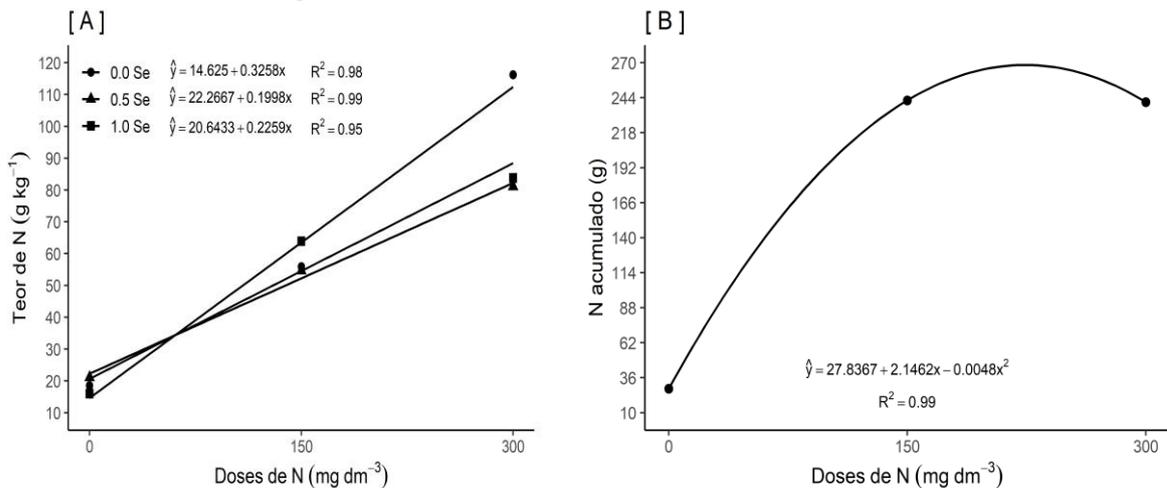
O Se apesar de não apresentar essencialidade as plantas, pode ser considerado elemento benéfico, auxiliando em aspectos de suma importância, como o aumento de massa fresca em plantas de rúcula, o que foi possível observar no presente estudo.

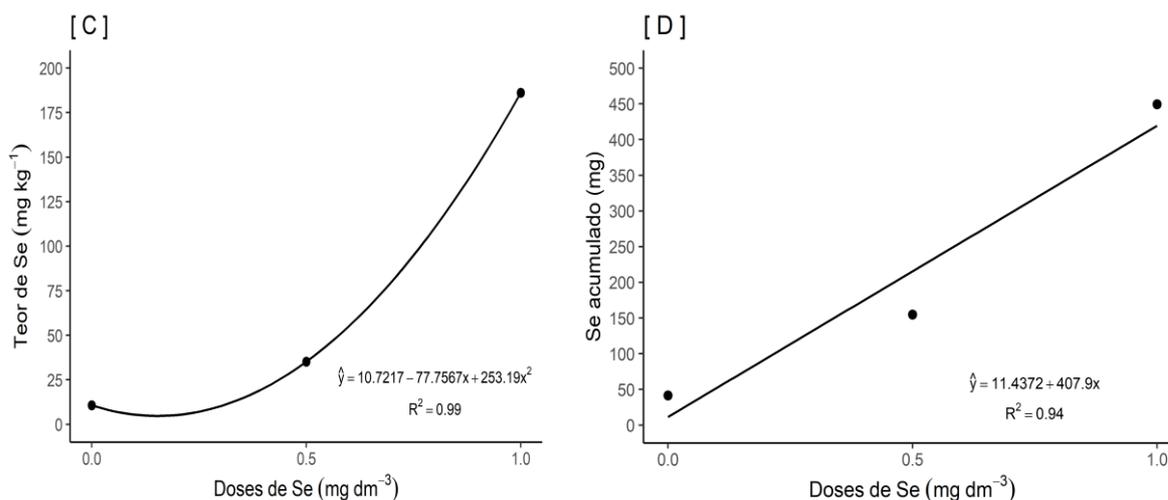
4.2 Teor e acúmulo de N e Se

Dentre os nutrientes e parâmetros avaliados no presente trabalho, apenas o teor de N foi influenciado pela interação das doses de N e Se ($p < 0,05$). Ao aplicar a dose máxima de 300 mg dm³ de N, e as doses de 0, 0,5 e 1,0 mg dm⁻³ de Se, os teores de N obtidos foram de 112,26, 82,20 e 88,41 g kg⁻¹, respectivamente, ocorrendo uma redução à medida que foram aplicadas as doses de Se (FIGURA 2A).

O Se na forma de selenato (SeO₄²⁻), quando presente no solo, apresenta uma característica de competição com outros ânions, como o nitrato, fosfato e o sulfato, podendo ocorrer tanto interferência na absorção dos nutrientes quanto do Se e conseqüentemente seus teores nas plantas (NATASHA et al., 2018), sendo possível a ocorrência dessa competição ao longo do cultivo da rúcula, tendo em vista que à medida que foram aplicadas doses crescentes de Se, o teor total de N reduziu.

Figura 2 - Teor e acúmulo de N (A e B) e Se (C e D) na matéria seca da rúcula em função das doses de N e Se aplicadas.





Com relação as doses de N e Se aplicadas, não houve interação significativa sobre o teor e acúmulo de Se, entretanto, houve um aumento quadrático crescente no teor, sendo na maior dose de 1,0 mg dm⁻³ encontrado um teor de 184,82 mg kg⁻¹ e um aumento linear no acúmulo de Se, quando adicionadas as doses crescentes desse elemento (FIGURA 2C e 2D).

A cultura da rúcula pertence à família Brassicaceae, a qual apresenta em uma de suas características uma tendência ao acúmulo de Se, além desse elemento utilizar as mesmas vias de absorção do sulfato. À medida que foram aplicadas doses crescentes de Se no presente estudo, houve um aumento no teor e acúmulo de Se, ficando dentro da faixa para ser considerada acumuladora (100 a 1000 mg kg na matéria seca). Além disso, as plantas ao longo do cultivo não apresentaram sintomas de toxidez com relação as doses de Se aplicadas.

De acordo com o comitê do Codex de nutrição e alimentos para usos dietéticos especiais, a dose diária recomendada para ingestão de selênio é de 60 µg (CCNFSDU, 2014).

4.3 Teores de P, K, Ca, Mg e S

Ao aplicar as doses de N, houve um ajuste quadrático crescente com relação ao teor de P, apresentando um ponto de máxima na dose de 212,50 mg dm³ de N, com um teor de 8,38 g kg⁻¹ de P. Não houve diferença significativa do teor de P quando aplicadas doses crescentes de Se, entretanto é perceptível uma redução do teor desse nutriente, sendo o maior teor obtido quando não aplicado o Se (FIGURA 3A e 3B).

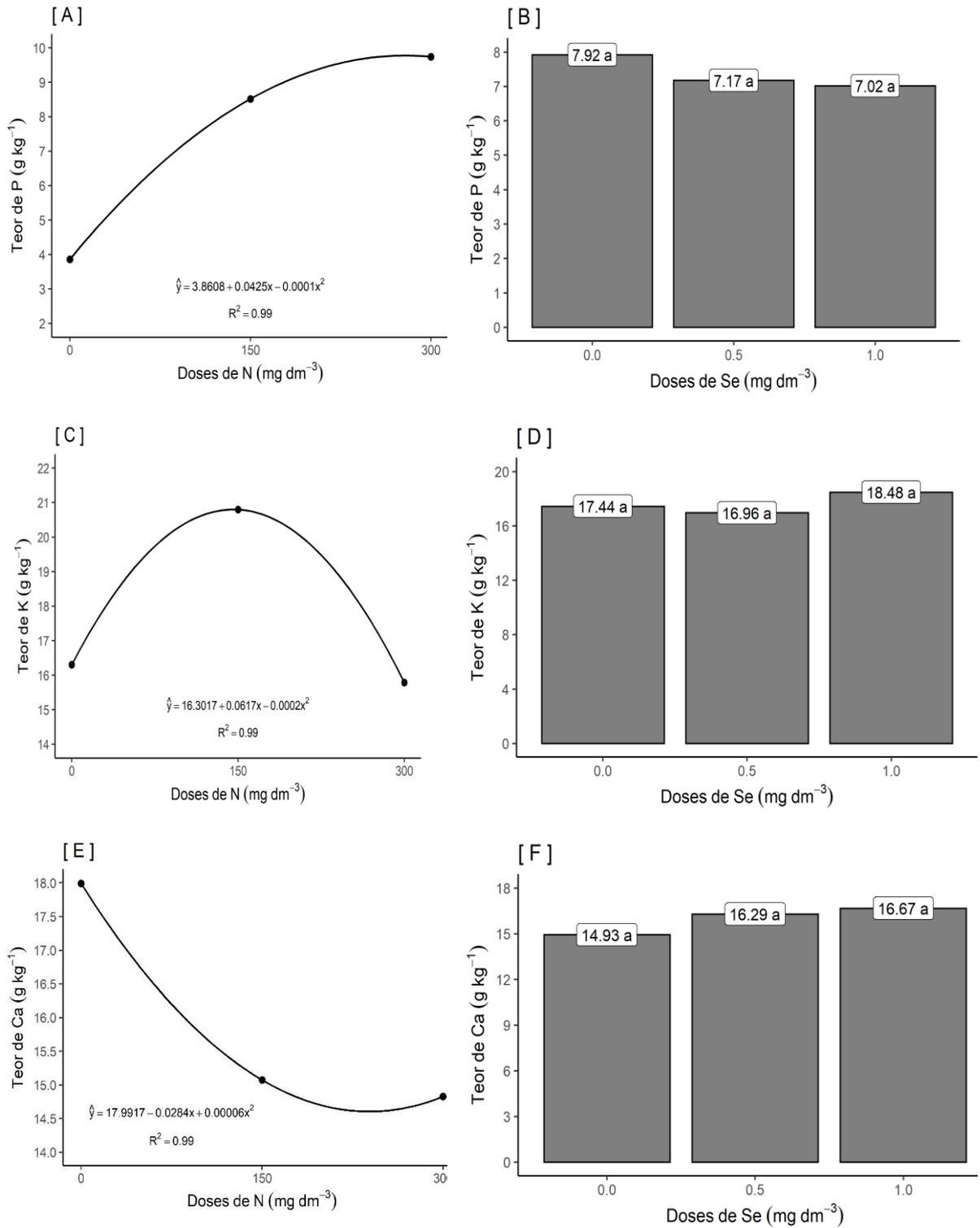
Neste estudo o N e o P apresentam sinergismo entre si, sendo o P favorecido à medida que doses crescentes de N foram aplicadas, auxiliando em uma maior absorção de P.

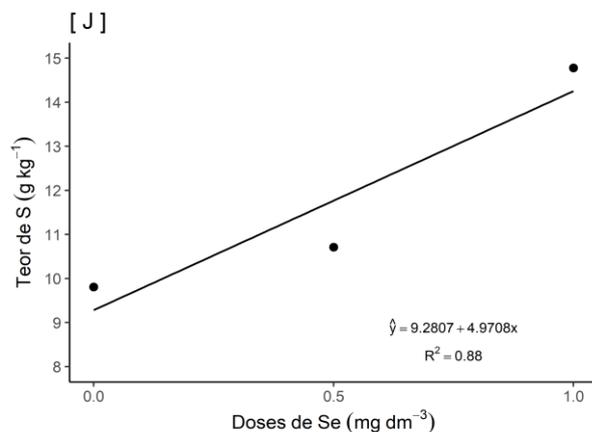
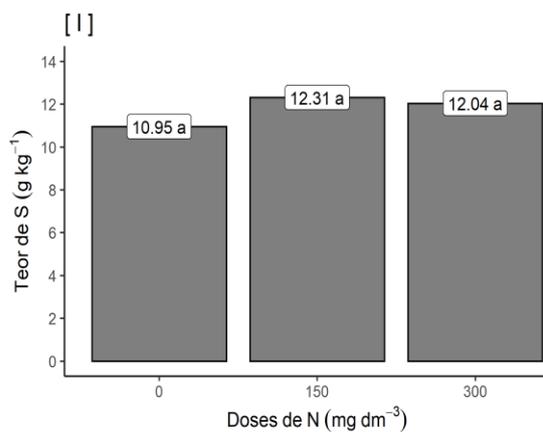
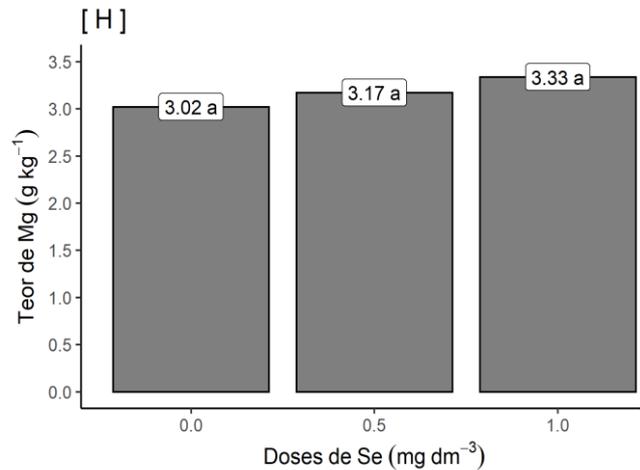
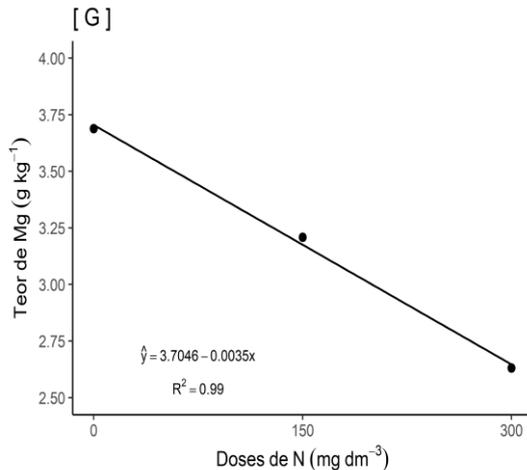
Avaliando os teores de K e Ca, é possível observar que eles apresentaram respostas opostas com relação aos seus teores e as doses de N aplicadas, tendo em vista que houve um aumento no teor de K, até atingir o ponto de máxima, correspondendo a dose de 154 mg dm⁻³ de N com teor de 21,07 g kg⁻¹, após, houve uma redução do teor desse nutriente. Quanto ao Ca ocorreu o oposto, apresentando redução do teor até a dose de 236,67 mg dm⁻³ de N, e com a aplicação de doses acima houve um aumento no teor de Ca (FIGURA 3C e 3E). O Mg apresentou um comportamento linear decrescente com relação ao seu teor à medida que foram aplicadas as doses crescentes de N (FIGURA 3G).

O Ca e K apresentam uma competição inibitória entre si, tendo em vista que eles competem pelos mesmos sítios de absorção. Os resultados demonstram que o N foi benéfico ao K até a dose de 154 mg dm⁻³, proporcionando uma maior disponibilidade para a absorção de K. Contudo, foi possível observar que em doses superiores ao favorecimento do aumento no teor de K, houve um aumento no teor de Ca, ao aplicar doses que reduziram o teor de K, o Ca foi favorecido, aumentando seu teor nas plantas de rúcula, demonstrando uma competição entre esses dois elementos, dependendo das doses aplicadas e interação com os demais nutrientes.

Quando aplicado as diferentes doses de Se não houve diferença significativa nos teores de K, Ca e Mg, entretanto houve um aumento quando aplicada a dose de 1,0 mg dm⁻³ de Se, correspondendo a 18,48, 16,67 e 3,33 g kg⁻¹, respectivamente (FIGURA 3D, 3F e 3H). À medida que são aplicadas doses crescentes de Se, pode ter ocorrido um sinergismo desse elemento com esses nutrientes, sendo possível observar o benefício de se aplicar Se a cultura da rúcula, proporcionando um melhor manejo da adubação.

Figura 3 - Teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na matéria seca da rúcula em função das doses de N e Se aplicadas.





O S não apresentou diferença significativa com relação aos seus teores e as doses de N aplicadas. Entretanto, na dose de 150 mg dm^{-3} , foi obtido o maior teor, correspondendo a $12,31 \text{ g kg}^{-1}$ de S. Ao aplicar as doses de Se, houve um crescimento linear com relação aos teores de S, onde na maior dose de Se aplicada, de $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$, as plantas de rúcula apresentaram um teor de $14,25 \text{ g kg}^{-1}$, em sua matéria seca (FIGURA 3I e 3J).

O sulfato e o selenato são similares quimicamente, proporcionando que os dois utilizem as mesmas vias de absorção e assimilação, no entanto quando presentes nos solos, o S não favorece a absorção e assimilação do Se, entretanto o oposto também pode acontecer. Santiago et al. (2018), demonstraram que em plantas de morango ocorreu uma inibição competitiva, ao realizar a adubação sulfatada houve uma redução no teor de Se na parte aérea e nos frutos, entretanto na presença do Se sem a adubação sulfatada houve um maior acúmulo de S.

Nas plantas de rúcula, ocorreu um sinergismo com relação as doses de Se aplicadas e o teor de S, onde esse nutriente foi favorecido com o aumento das doses de Se.

4.4 Teores de Cu, Fe, Mn, Zn e B

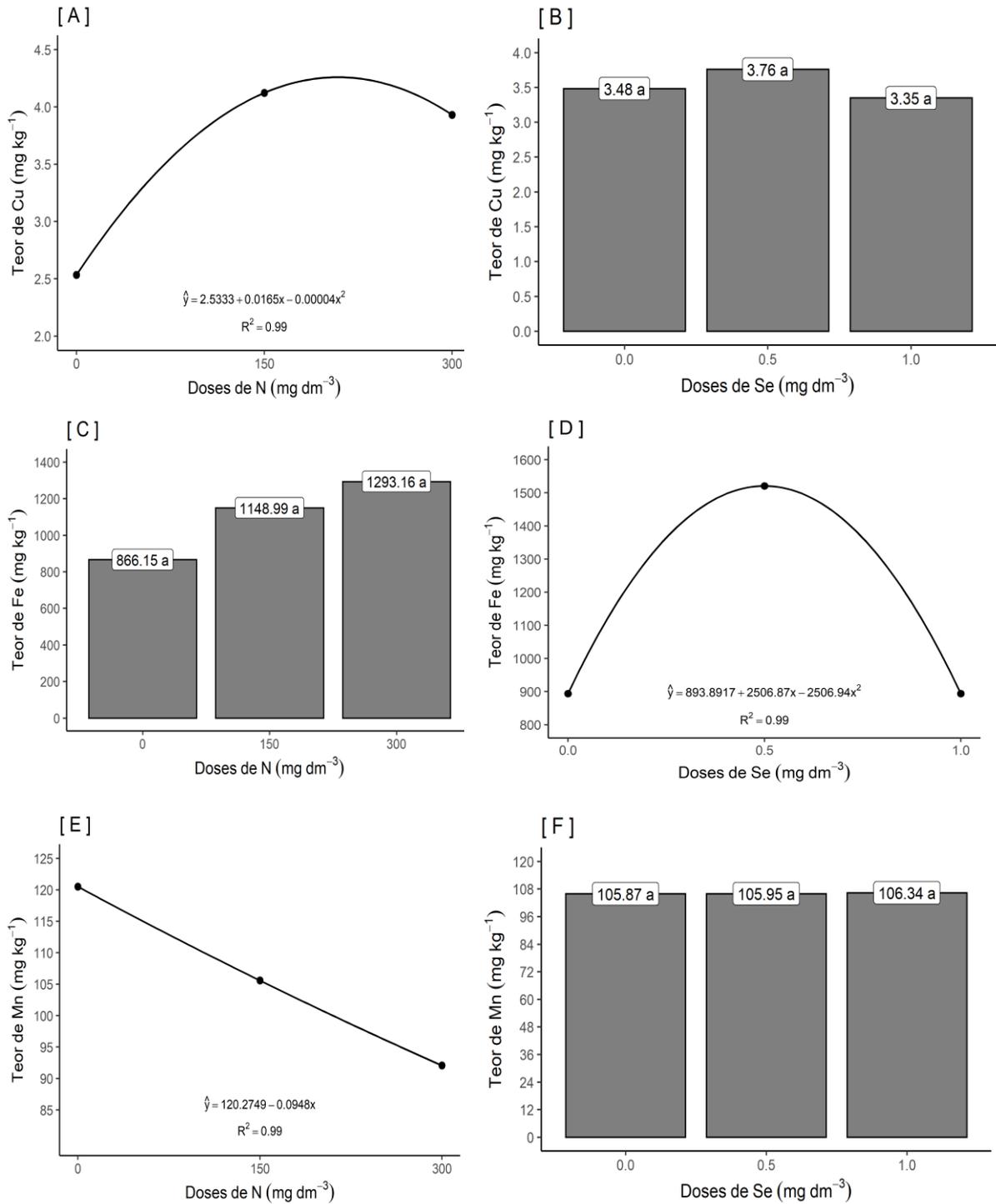
A análise de variância ($p \leq 0,05$) não demonstrou interação significativa entre as doses de N e Se sobre os teores dos micronutrientes analisados. Entretanto ao analisar as doses de N e Se isoladas, é possível observar que houve um ajuste quadrático com relação ao teor de cobre (Cu) relacionado as doses de N, sendo o valor do ponto de máxima correspondente a dose de 206,25 mg dm⁻³, com um teor de 4,23 mg kg⁻¹ (FIGURA 4A). Além disso, o teor de manganês (Mn) apresentou um ajuste linear decrescente, sendo o ponto de menor valor na dose de 300 mg dm⁻¹ de N, com um teor de 91,83 mg kg⁻¹ (FIGURA 4E).

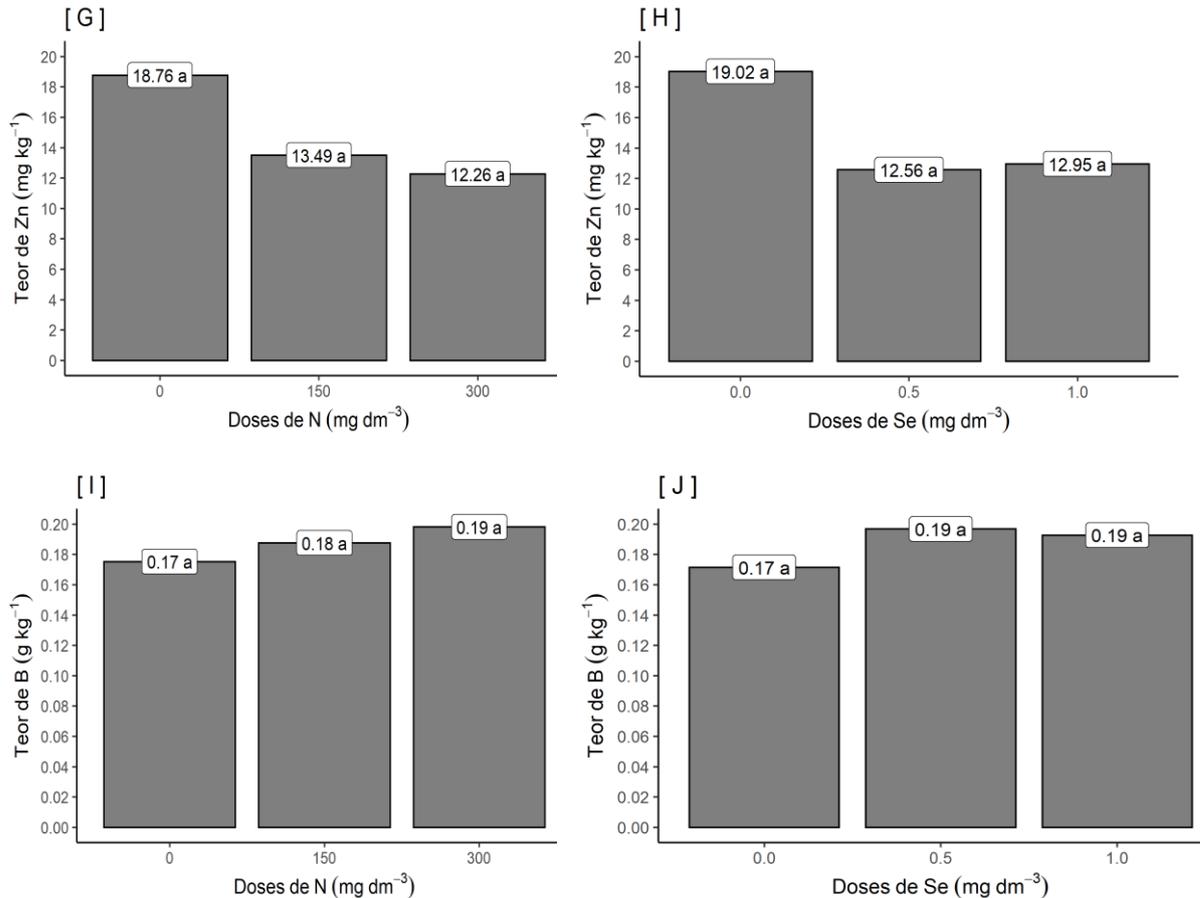
Com relação as doses de Se aplicadas, apenas no teor de Fe ocorreu um ajuste quadrático crescente até a dose de 0,5 mg dm⁻³ de Se, com um teor de 1520,59 mg kg⁻¹ (FIGURA 4D). Os demais micronutrientes não apresentaram diferença significativa, contudo foi possível observar um aumento com relação ao teor de Cu na dose 0,5 mg dm⁻³ de Se (FIGURA 4B).

O zinco (Zn) apesar de não ter ocorrido uma diferença significativa com relação ao teor, ocorreu uma redução à medida que doses crescentes de Se foram aplicadas (FIGURA 4H), onde o Se não favoreceu a absorção desse nutriente. O fornecimento de Zn as culturas, geralmente ocorre através do sulfato de zinco, o selenato apresenta competição com ânions presentes no solo, como o sulfato, sendo de modo geral, o sulfato favorecido. Todavia, ao aplicar o sulfato de zinco no solo, como fonte desse micronutriente nas plantas de rúcula, através da solução nutritiva, por ser uma quantidade menor do que as doses de Se aplicadas, pode ter ocorrido uma competição inibitória.

Os micronutrientes apesar de serem requeridos pelas plantas em menores quantidades, desempenham funções de suma importância, principalmente nos processos metabólicos das plantas, influenciando na fotossíntese, respiração e metabolismo de macronutrientes, atuando como cofatores de enzimas, por exemplo (FAQUIN, 2005; MALAVOLTA, 2006; TAIZ et al., 2017).

Figura 4 - Teores de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B) na matéria seca da rúcula em função das doses de N e Se aplicadas.





O Cu, o Fe e o Zn, participam do sistema oxidante das plantas, através das enzimas catalases (CAT) e superóxido dismutase (SOD), atuando nas espécies reativas de oxigênio (ERO's), as quais são altamente prejudiciais às plantas. Além disso, na deficiência desses nutrientes, há uma menor taxa fotossintética, um menor teor de clorofila, além das plantas ficarem mais suscetíveis a estresses, prejudicando seu desenvolvimento (FAQUIN, 2005; TAIZ et al., 2017).

Alguns autores demonstram que o Se é benéfico ao metabolismo das plantas, principalmente com relação ao aumento de atividades enzimáticas SOD, CAT E APx (ascorbato peroxidase), atuando no sistema antioxidante das plantas, conferindo a elas uma proteção contra estresses e reduzindo o peróxido de hidrogênio (LARA et al., 2019; RAVELLO et al., 2021).

O Fe, Se e Zn, têm sido estudados a fim de promover a biofortificação agrônômica de culturas, tendo em vista que uma parte da população apresenta deficiência nutricional com relação a esses elementos. Entretanto, ainda faltam estudos que auxiliem nas doses a serem aplicadas, níveis de tolerância das culturas, assim como a avaliação de possíveis interações entre esses nutrientes.

Considerando as funções dos macros e micronutrientes, os efeitos benéficos do Se e a importância para o organismo humano, a partir dos resultados obtidos nesse estudo, é possível auxiliar na recomendação de doses para adubação, tendo em vista um equilíbrio entre o adequado desenvolvimento das plantas, incrementos na produtividade, e a mitigação da deficiência nutricional humana.

5 CONCLUSÃO

As plantas de rúcula apresentaram adequado desenvolvimento com a presença do Se. A dose de $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de Se, proporcionou maior produção de massa fresca, demonstrando que esse elemento pode ser benéfico ao desenvolvimento da rúcula.

Houve interação entre as doses de N e Se, influenciando apenas no teor de N.

A rúcula demonstra ser uma cultura com alto potencial para biofortificação agrônômica, tendo em vista que ela demonstrou ser uma planta acumuladora de Se, entretanto ainda são necessários estudos com relação as doses de Se a serem aplicadas e as possíveis interações entre o Se e os demais nutrientes, para um melhor manejo relacionado a adubação.

REFERÊNCIAS

- ABCSEM. Associação Brasileira de Comércio de Sementes e Mudas. **Seminário Nacional de folhosas debateu tendências do segmento no Brasil**. Disponível em: https://issuu.com/mypressco/docs/final_-_revista_abcsem_-_edic_a_o_2_f21a6f21ccaa96/. Acesso em: 20 dez. 2021.
- BAÑUELOS, G. S.; LIN, ZHI-QING; BROADLEY, M. Selenium biofortification. In: **Selenium in plants**. Springer, Cham, 2017. p. 231-255
- BARILLAS, J. R. V.; QUINN, C.F.; PILON-SMITS, E. AH. Selenium accumulation in plants—phytotechnological applications and ecological implications. **International journal of phytoremediation**, v. 13, n. sup1, p. 166-178, 2011.
- BOLDRIN, P. F. et al. Selenium promotes sulfur accumulation and plant growth in wheat (*Triticum aestivum*). **Physiologia Plantarum**, Sweden, v. 158, n. 1, p. 80–91, 2016.
- BOYD, R. Selenium stories. **Nature chemistry**, v. 3, n. 7, p. 570-570, 2011.
- BOUIS, H. E., & SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: a review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. **Global food security**, v.12, p. 49-58, 2017
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas, **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 365 - 372, 2000.
- BOARETTO, A. E.; NATALE, W. Importância da Nutrição Adequada para Produtividade e Qualidade dos Alimentos. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal-SP: FUNEP—Fundação de Apoio à Pesquisa, Ensino e Extensão, 2016.
- BOCCHINI, M. et al., Soil selenium (Se) biofortification changes the physiological, biochemical and epigenetic responses to water stress in *Zea mays* L. by inducing a higher drought tolerance. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 389, 2018.
- BUDKE, Christoph et al. Iodine biofortification of field-grown strawberries—Approaches and their limitations. **Scientia Horticulturae**, v. 269, p. 109317, 2020.
- BUSINELLI, D. et al. Se-enrichment of cucumber (*Cucumis sativus* L.), lettuce (*Lactuca sativa* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L. Karst) through fortification in pre-transplanting. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 197, p. 697–704, 2015
- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant Soil**, v. 302, n. 1-2, p. 1–17, 2008.
- CAKMAK, I. et al. Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. **Plant and Soil**, v. 418, n. 1, p. 319-335, 2017.
- CAKMAK, I.; KUTMAN, U. áB. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. **European journal of soil science**, v. 69, n. 1, p. 172-180, 2018.

CANTARELLA, H. Nitrogênio In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-470, 2007.

CICCOLINI, V. et al. Biofortification with iron and zinc improves nutritional and nutraceutical properties of common wheat flour and bread. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 65, n. 27, p. 5443-5452, 2017.

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: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/%3Flnk%3D1%26url%3Dhttps%25253A%25252F%25252Fworkspace.fao.org%25252Fsites%25252Fcodex%25252FMeetings%25252FCX-720-36%25252FREP15_NFSDUe.pdf. / Acesso em: 20 Jan. 2022.

CNA. Confederação Nacional De Agricultura e Pecuária, 2021- **Estudo da CNA mostra que região Sudeste corresponde a 40% da produção de hortifrúti no Brasil**. Disponível em: [https://www.cnabrazil.org.br/noticias/estudo-da-cna-mostra-que-regiao-sudeste-corresponde-a-40-da-producao-de-hortifruti-no-brasil#:~:text=22%2F12%2F2021-,Estudo%20da%20CNA%20mostra%20que%20regi%C3%A3o%20Sudeste%20corresponde%20a%2040,Pecu%C3%A1ria%20do%20Brasil%20\(CNA\)](https://www.cnabrazil.org.br/noticias/estudo-da-cna-mostra-que-regiao-sudeste-corresponde-a-40-da-producao-de-hortifruti-no-brasil#:~:text=22%2F12%2F2021-,Estudo%20da%20CNA%20mostra%20que%20regi%C3%A3o%20Sudeste%20corresponde%20a%2040,Pecu%C3%A1ria%20do%20Brasil%20(CNA)). / Acesso em: 05 Jan. 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009**. Diário Oficial da União, Brasília, n. 249, p. 81-84, dez. 2009. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguassubterraneas/wpcontent/uploads/sites/13/2013/11/CONAMA-420-09.pdf>.

DA SILVA, D. F. et al., Biofortification with selenium and implications in the absorption of macronutrients in *Raphanus sativus* L. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 86, p. 103382, 2020

DOBOSY, P. et al. Biofortification of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) with iodine in a plant-calcareous sandy soil system irrigated with water containing KI. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 88, p. 103434, 2020.

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

FAGERIA, V.D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**. v. 24, p. 1269–1290, 2001.

FAO.; IFAD.; UNICEF.; WFP.; WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2017**. Rome: FAO, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-I7695e.pdf> /. Acesso em 3 dez. 2021.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. UFV. Viçosa, MG. 2008.

FONTES, P. C. Nutrição mineral de hortaliças: horizontes e desafios para um agrônomo. **Horticultura brasileira**, v. 32, p. 247-253, 2014.

GALIĆ, L. et al. Agronomic biofortification of significant cereal crops with selenium—A review. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 1015, 2021.

GONZÁLEZ-MORALES, S. et al., Selenium and sulfur to produce allium functional Crops. **Molecules**, v. 22, p. 1-22, 2017.

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

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. 52, n. 4, p. 501-510, 2014.

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.

HOAGLAND, D. R.; ARNON D. I. The water-culture method for growing plants without soil. **Circular. California agricultural experiment station**, v. 347, n. 2nd edit, 1950.

HOSSAIN, A. et al., Selenium biofortification: roles, mechanisms, responses and prospects. **Molecules**, v. 26, n.4, p. 881, 2021.

JONES, G. D. et al. Climate change affects selenium deficiency risk. **Proceedings of the National Academy of Sciences Mar**, v. 114, n. 11, p. 2848-2853, 2017.

LARA, T. S. et al. Selenium biofortification of wheat grain via foliar application and its effect on plant metabolism. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 81, p. 10-18, 2019.

LESSA J. H. L. et al., Strategies for applying selenium for biofortification of rice in tropical soils and their effect on element accumulation and distribution in grains. **Journal of Cereal Science**, v. 96, p. 103125, 2020.

LYONS, G. Selenium in cereals: Improving the efficiency of agronomic biofortification in the UK. **Plant and Soil**, v. 332, p. 1–4, 2010.

MALAGOLI, M., SCHIAVON, M., & PILON-SMITS, E. A. Effects of selenium biofortification on crop nutritional quality. **Frontiers in plant science**, v. 6, p. 280, 2015.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 596 p.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica, 2006. 683 p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. de A.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2007. p. 189-249.

MORAES, M. F. Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, Potafos, n. 123, p.21-23, 2008.

NASCIMENTO, C. S.; NASCIMENTO, C. S.; CECÍLIO FILHO, A. B. Doses and split nitrogen fertilizer applications on the productivity and quality of arugula. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 824-829, 2021.

NATASHA.; SAHID, M.; NIAZI, N . K. et al. A critical review of selenium biogeochemical behavior in soil plant system with an inference to human health. **Environmental Pollution**, v. 234, n. 1, p. 915-934, 2018.

NEWMAN, R. et al., Selenium biofortification of agricultural crops and effects on plant nutrients and bioactive compounds important for human health and disease prevention—a review. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.74, n. 4, p. 449-460, 2019.

PEREIRA, A. G. C., et al., Respostas de cultivares de rúcula à adubação nitrogenada mineral e orgânica aplicada via cobertura. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 61008-61016, 2020.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RADAWJEC, A., SZULC, W., & RUTKOWSKA, B. Selenium Biofortification of Wheat as a Strategy to Improve Human Nutrition. **Agriculture**, v. 11, n. 2, p. 144, 2021

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAMOS, S. J. et al. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. **Plant, Soil and Environment**, v. 56, n. 12, p. 584-588, 2010.

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

RAVELLO, R. A. V. et al. Selenium application influenced selenium biofortification and physiological traits in water-deficit common bean plants. **Crop And Pasture Science**, [S.L.], v. 73, n. 2, p. 44-55, 2021.

REIS, H. P. G. et al. Agronomic biofortification of upland rice with selenium and nitrogen and its relation to grain quality. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 508-515, 2018.

REIS, H. P. G. et al. Agronomic biofortification with selenium impacts storage proteins in grains of upland rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 5, p. 1990-1997, 2020.

- RÍOS, J. J. et al. Nitrogen-use efficiency in relation to different forms and application rates of Se in lettuce plants. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 29, n. 2, p. 164-170, 2010.
- SABATINO, L. et al., Selenium biofortification and grafting modulate plant performance and functional features of cherry tomato grown in a soilless system. **Scientia Horticulturae**, v. 285, p. 110095, 2021.
- SANTIAGO, F. E. M. et al. Influence of sulfur on selenium absorption in strawberry. **Acta Scientiarum**, Maringá, PR, v. 40, 2018.
- SEREGINA, I. I.; NILOVSKAYA, N. T.; OSTAPENKO, N. O. The role of selenium in the formation of the grain yield in spring wheat. **Agrokimiya**, v. 1, p. 44-50, 2001.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 370 p.
- SILVA JUNIOR, E.C. et al. Natural variation of selenium in Brazil nuts and soils from the Amazon region. **Chemosphere**, v. 188, p. 650-658, 2017.
- SILVA, P. H. S. et al. Rocket plants in response to nitrogen concentration in nutrient solution. **Horticultura Brasileira**, v. 39, p. 341-345, 2021.
- SILVEIRA, G. S. R. Produção de hortaliças em pequena escala. **Informe Agropecuário**, v. 40, n. 308, p. 7-12, 2019.
- SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynthesis Research**, v. 86, n. 3, p. 373–389, 2005.
- TAIZ, L., et al., **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.
- VENTURA, M., MELO, M., & CARRILHO, F. Selenium and thyroid disease: from pathophysiology to treatment. **International journal of endocrinology**, v. 2017, 2017.
- 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., & BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets—iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v. 182, n. 1, p. 49-84, 2009.
- XU, Z. C. et al. Effects of different selenium concentrations on invertase and nitrate reductase activities of flue-cured tobacco. **Food Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 11, n. 3-4, p. 964-967, 2013.
- YUAN, L. et al. A novel selenocystine-accumulating plant in selenium-mine drainage area in Enshi, China. **PLOS ONE**, v. 8, n. 6, e65615, 2013.