



Fundação Universidade Federal do ABC

Pró reitoria de pesquisa

Av. dos Estados, 5001, Santa Terezinha, Santo André/SP, CEP 09210-580

Bloco L, 3ºAndar, Fone (11) 3356-7617

iniciacao@ufabc.edu.br

## **PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

### **Especiação química de selênio em grãos de arrozes pós-cultivo com aplicação foliar de nanopartículas**

Palavras chave: selênio, arroz,  
nanopartículas, biofortificação

Área de conhecimento do projeto:

Transformações Químicas

Outras áreas: Nanotecnologia,

Química Analítica, Alimentos

Santo André – SP

Junho de 2022

## Sumário

<b>Resumo</b>	<b>41</b>
	<b>Introdução</b>
	<b>5</b>
1.1 Arroz	<b>5</b>
1.2 Selênio (Se) e Nanopartículas de Se (SeNPs)	<b>6</b>
1.3 Nanotecnologia e nanopartículas de selênio (SeNPs)	<b>8</b>
1.4 Especificação química de Selênio (Se)	<b>9</b>
<b>2 Justificativa</b>	<b>11</b>
<b>3 Objetivos</b>	<b>12</b>
<b>4 Metodologia</b>	<b>13</b>
4.1 Plantio de arroz com aplicação de SeNPs	<b>13</b>
4.2 Especificação química de Se nos grãos de arroz cultivados sob a ação de SeNPs	<b>14</b>
4.3 Análise estatística para comparação dos grupos de cultivo	<b>15</b>
	<b>13</b>
<b>5 Cronograma de atividades</b>	<b>16</b>
<b>Referências</b>	<b>18</b>

**Resumo:**

O arroz é um alimento muito produzido e consumido em todo mundo, mas é um alimento carente em selênio (em média  $68,4 \text{ ng g}^{-1}$ ), um micronutriente essencial para a saúde humana. O Se possui funções antioxidantes, além de prevenir e auxiliar no tratamento de diversas doenças. O uso de suplementos alimentares e o consumo de alimentos ricos em selênio têm sido algumas alternativas para aumentar a ingestão de selênio pela população. A nanotecnologia tem possibilitado o avanço nas áreas da medicina e meio ambiente nos últimos anos. O intuito desse projeto é a aplicação de nanopartículas de selênio na cultura do arroz para biofortificação dessa cultura, e avaliação dos impactos da biofortificação com nanopartículas de selênio na especiação química desse elemento nos grãos de arroz. Para isso, as amostras cultivadas depois de serem preparadas serão analisadas por ICP-MS para totais e HPLC-ICP-MS para a especiação.

**Abstract:**

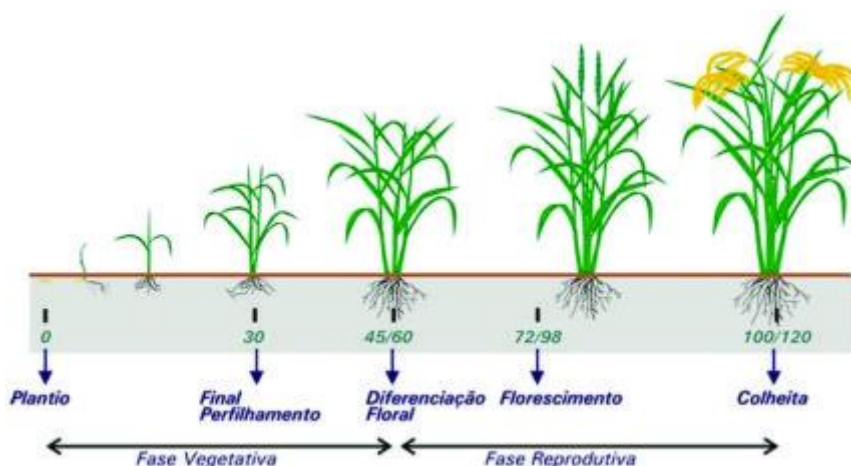
Rice is a food widely produced and consumed around the world, but it is lacking in selenium (on average 68.4 ng g<sup>-1</sup>), an essential micronutrient for human health. Se has antioxidant functions, in addition to preventing and assisting in the treatment of various diseases. The use of dietary supplements and the consumption of foods rich in selenium have been some alternatives to increase the intake of selenium by the population. Nanotechnology has enabled advances in medicine and the environment in recent years. The aim of this project is the application of selenium nanoparticles in rice for biofortification of this crop, and evaluation of the impacts of biofortification with selenium nanoparticles on the chemical speciation of this element in rice grains. For this, samples cultured after being prepared will be analyzed by ICP-MS for totals and HPLC-ICP-MS for speciation.

## 1. Introdução

### 1.1 Arroz

O arroz é um dos alimentos mais produzidos e consumidos do mundo, no Brasil ele está no topo da lista dos alimentos mais consumidos pelas famílias brasileiras (IBGE, 2011). Além disso, o Brasil está em 9<sup>o</sup> lugar como o maior produtor de arroz do mundo, se destacando como o primeiro país não asiático entre os 10 maiores produtores de arroz. Anualmente a média de arroz produzido no Brasil é de 13.140.900 toneladas (WALTER, 2008). O arroz é uma boa fonte de energia e proteínas e se adapta a diferentes tipos de solo e clima, por esse motivo ele pode ser um grande aliado para enriquecer a alimentação da população.

Essa planta também conhecida como *Oryza sativa* é cultivada anualmente em solos alagados e é composta por caule, raiz, folhas e panículas. O crescimento do arroz é dividido em três fases, a vegetativa, reprodutiva e maturação, conforme podemos observar na Figura 1. O período vegetativo inicia-se na germinação e termina no primórdio da panícula, a duração varia de acordo com o clima. No período reprodutivo a duração é em média 35 dias e essa fase inicia-se no primórdio da panícula e se estende até o florescimento. A terceira fase é pouco variável, inicia-se no florescimento e termina na maturação completa, essa última fase tem a duração média de 30 a 35 dias (GUIMARÃES, 2002).



**Figura 1.** Fases do desenvolvimento do arroz. Fonte: Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC)

Em relação a composição do grão de arroz, podemos destacar os carboidratos, proteínas, lipídios e micronutrientes. Os carboidratos e as proteínas são macronutrientes que tem como função fornecer energia e criar uma reserva energética para o ser humano. Os lipídios também são uma fonte de energia e desempenham outro papel importante que é o transporte de vitaminas. As gorduras também são importantes para a produção e manutenção de hormônios e proteínas (DOMENE *et al.*, 2021). A quantidade desses componentes no arroz varia de acordo com o processo de cultivo, o clima e se o grão foi ou não polido. Mas existe uma grande carência de micronutrientes no arroz que afeta diretamente a saúde da população.

Uma alternativa usada para aumentar a concentração de micronutrientes na cultura do arroz é a biofortificação, esse é um processo de melhoramento da planta. Esse procedimento é feito através da adubação das plantas ou por melhoramento genético.

## **1.2 Selênio (Se)**

O selênio é um micronutriente essencial para a saúde humana. No corpo humano, ele está associado às selenoproteínas (LOUISE, 2018). O glutathione peroxidase é uma selenoproteína que atua no corpo humano como redutor de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), reduzindo e protegendo o corpo de lesões oxidativas. Outra selenoproteína é a iodotironina desiodases (DIO) que regula o hormônio da tireóide no corpo.

Atualmente, cerca de 3 bilhões de pessoas no mundo são afetadas pela falta de Se (JONES *et al.*, 2017). A ingestão de Se pela população depende da quantidade de Se contida nos alimentos e isso varia de acordo com o solo, clima e as técnicas de manejo da cultura. Outros fatores importantes são os alimentos mais consumidos em cada cultura e o poder aquisitivo da população. No Brasil, as classes com menor poder aquisitivo têm uma alimentação mais carente em

Se (ANDRADE, 2017). A Tabela 1 mostra o teor de Se em alguns alimentos e a porcentagem do valor diário de Se que isso representa.

<b>Alimento</b>	<b>Porção aproximada</b>	<b>µg Se porção</b>	<b>Porcentagem do DV</b>
Castanha do Brasil	30g (6-8 unidades)	544	777
Atum grelhado	85g	92	131
Sardinha enlatada	85g	45	64
Presunto assado	85g	42	60
Camarão	85g	40	57
Carne (músculo) bovina assada	85g	33	47
Fígado bovino grelhado	85g	28	40
Peito de frango assada	85g	22	31
Arroz integral cozido	1 xícara	19	27
Ovo cozido grande	1 unidade	15	21
leite, 1% gordura	1 xícara	8	11

**Tabela 1.** Teor de Se em alguns alimentos e porcentagem do valor diário (DV) de Se baseado no valor diário de 70 µg dia<sup>-1</sup> recomendado pelo U.S. FDA para

adultos e crianças com 4 anos ou mais (Adaptado de OLIVEIRA, 2016; adaptado de U.S. HHS (EUA, 2013)).

A quantidade recomendada de Se por dia é de 50-70 µg/dia, mas isso pode variar de acordo com a idade e o sexo (ALEXANDER, 2015). A Tabela 2 mostra a quantidade recomendada e a máxima de Se que deve ser ingerido diariamente de acordo com a idade.

Idade	Quantidade recomendada (µg/dia)	Quantidade máxima (µg/dia)
<b>0- 6 meses</b>	15	45
<b>7- 12 meses</b>	20	60
<b>1- 10 anos</b>	20 - 40	90 - 280
<b>11- 18 anos</b>	40 - 55	280 - 400
<b>+ 19 anos</b>	55	400
<b>Gravidez</b>	60	400
<b>Aleitamento</b>	70	400

**Tabela 2.** Quantidades diárias recomendadas para a ingestão de selênio (em µg/dia) (adaptado de ALEXANDER, 2015; adaptado de MEDLINE PLUS, 2015 e BODNAR *et al.*, 2012)

### 1.3 Nanotecnologia e nanopartículas de selênio (SeNPs)

De acordo com a comissão Europeia, uma nanopartícula (NP) ou nanomaterial é um agregado que contém em sua composição 50% das partículas em uma escala que varia de 1 a 100 nm (EUROPEAN COMISSION,



2011; SCENIHR, 2014). A Organização Internacional de Padronização (ISO) define um nanomaterial como uma partícula que contém uma dimensão em nanoescala (de 1 a 100 nm). Outra classificação para as nanopartículas é de acordo com sua forma e composição (WONG, CHOLI, 2015; HEERA, SHANMUNGAM, 2015; DHAND, *et al.*, 2015).

As nanopartículas de selênio (SeNPs) tem se tornado atrativas nos últimos tempos por conta de estudos que comprovaram a alta biodisponibilidade e baixa toxicidade das SeNPs quando comparadas a formas orgânicas e inorgânicas *bulk* (BADGAR, 2019). As SePNs também mostraram eficácia comparável ao selenito na regulação da atividade das selenoenzimas e dos níveis de Se nos tecidos, além de serem menos tóxicas.

A produção de SeNPs pode ser feita por meio de síntese física por ablação a laser ou métodos assistidos por micro-ondas, biológica que usa bactérias e plantas ou química que é feita a partir de processos de redução e estabilização por agentes químicos.

Os métodos tradicionais usados para caracterização das SeNPs são a espectroscopia no UV-Vis, espalhamento de luz dinâmico (DLS), Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), e Microscopia Eletrônica de Transmissão (TEM) (BOROMAND *et al.*, 2019).

#### **1.4 Especificação química de selênio (Se)**

O selênio é um semi-metal presente no grupo VI da tabela periódica, ele pode ser encontrado em formas orgânicas como selenocisteínas (SeCys), selenometionina (SeMet) e selenometilcisteína (SeMC) e inorgânicas como seleneto ( $\text{Se}^{2-}$ ) ou selenato ( $\text{Se}^{6+}$ ) e selenito ( $\text{Se}^{4+}$ ) (SEREÑO, 2016; PANIZ, 2021). As espécies inorgânicas de Se quando absorvidas pelas plantas são convertidas para a forma orgânica.

O consumo elevado de Se ( $>400 \mu\text{g dia}^{-1}$ ) é tóxico para o ser humano, a intoxicação por Se é chamada de selenose que causa perda de cabelo, fragilidade das unhas, problemas gastrointestinais, pele com erupção cutânea, hálito de alho e anormalidades do sistema nervoso (YANG *et al.*, 1983). Ao inalar

Se volátil trabalhadores de uma indústria de eletrônicos se intoxicaram com o Se e essa exposição causou alguns problemas respiratórios como bronquite, dispneia, edema pulmonar e pneumonia, além de problemas gastrointestinais, cardiovasculares e irritação nos olhos (SZPUNAR, LOBINSKI, PRANGE, 2003).

A biodisponibilidade do Se no arroz depende de sua espécie química, por isso é importante que seja feita a determinação das diferentes espécies e não somente do teor total de Se. Uma análise feita com grãos de arroz de um solo contaminado na China mostram algumas espécies de Se presentes nos grãos e são essas: SeMet (de 68 a 81%), SeCys (de 6 a 10%), Se<sup>4+</sup> (de 5 a 13%), Se<sup>6+</sup> (de 1 a 3%) e outras espécies (de 19 a 31%) (BEILSTEIN et al., 1981 apud WHANGER, 2002). Um estudo feito com grãos de arroz de um solo biofortificação com Se, após determinação das espécies, a espécie de Se mais presente foi a SeMet sendo 99% da composição (TAO et al., 2008 apud WANG et al., 2007). Análises feitas com grão com e sem aplicação de Se na forma Se<sup>4+</sup> diretamente na folha também mostraram que a espécie de Se mais presente foi a SeMet (FANG et al., 2009).

Para a análise de especiação química é utilizado o HPLC (Cromatografia líquida de alto desempenho) acoplado ao ICP-MS (Espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente) que possibilita a separação e detecção de espécies químicas de forma eficiente (UDEN, 2002). Utilizando esse método é possível identificar a espécie de Se de acordo com o tempo de retenção. A separação das espécies químicas depende da interação entre os componentes da amostra com duas fases, a fase móvel e a fase estacionária (COLLINS, BRAGA E BONATO, 2006; CASS E DEGANI, 2001).

## **2. Justificativa**

O arroz é um alimento consumido por mais de 50% da população mundial, é um alimento consumido por todas as classes sociais, mas tem baixas concentrações de selênio (Se) em sua composição. O Se é um micronutriente de extrema importância para a saúde humana pois participa da composição de importantes enzimas e proteínas para o organismo. Em algumas regiões da África a alimentação é bastante limitada, por isso os alimentos consumidos devem ter altos níveis de micronutrientes. Lugares como a Europa, Oceania e outros continentes possuem um solo muito pobre em Se isso diminui a absorção pelas plantas e conseqüentemente afeta a ingestão de Se da população. As nanopartículas de selênio (SeNPs) apresentam baixa toxicidade quando comparadas com formas orgânicas e inorgânicas de Se. A aplicação de SeNPs para biofortificação da cultura do arroz que é um alimento bastante consumido em todo mundo pode contribuir para diminuição da deficiência de Se que afeta cerca de 3 bilhões de pessoas no mundo. Porém, é necessário o estudo das transformações que as nanopartículas de Se sofrem ao ser absorvidas pela planta, bem como das espécies químicas formadas através do estudo da especiação química de Se.

### **3. Objetivos**

O objetivo do projeto é a avaliação da especiação química de Se em grãos de arroz cultivados com a aplicação de nanopartículas de Se. Os objetivos específicos são:

- a) Cultivo de arroz com aplicação foliar de SeNPs durante o cultivo visando a biofortificação dos grãos com selênio;
- b) Especiação química de selênio nos grãos cultivados com a aplicação de nanopartículas.

## 4. Metodologia

### 4.1. Plantio de arroz com aplicação de SeNPs

O cultivo do arroz será feito com aplicação foliar de SeNPs até a maturação completa dos grãos. O método de aplicação e concentração de SeNPs ( $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ ) foram escolhidas com base em estudos anteriores do grupo de pesquisa e revisão bibliográfica.

As sementes de arroz da variedade BRS PAMPA, serão cedidas pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), um cultivar de arroz irrigado de alta qualidade e produtividade de grãos. As sementes de arroz serão imersas em água em sacos plásticos e mantidas em temperatura ambiente por 48 horas sem iluminação para hidratação e início da fase de germinação. Em seguida as sementes serão colocadas em uma bandeja forrada com papel toalha umedecido com água. Essas bandejas serão colocadas em uma estufa por 3 dias (72 horas) a  $28^{\circ}\text{C}$  até o início da fase de germinação. Após esse período, as sementes são colocadas nas sementeiras com terra vegetal úmida e ficarão na casa de vegetação de 10 a 15 dias, sendo regadas diariamente. As mudas serão juntamente replantadas com todo o conteúdo da bandeja, em vasos plásticos de 8 L recobertos na parte interna com sacos plásticos de alta densidade (que vão servir para impermeabilização e simulação do cultivo tipo irrigado). Nos vasos será colocado 5 kg de solo, (sendo por 70% de terra vegetal e 30% de terra vermelha) (BATISTA *et al.*, 2012 e 2014) e serão identificados com etiquetas e tinta insolúvel em água.

O cultivo será realizado em uma casa de vegetação sob condições controladas de temperatura (de  $25$  a  $35^{\circ}\text{C}$ ) e umidade (de 30 a 60%), segundo as recomendações Andrade *et al.*, 2018. Uma solução nutritiva será adicionada caso necessário. Serão formados 3 grupos, compostos por 6 réplicas cada um:

- Grupo C (“controle”, aplicação apenas de solução de surfactante);
- Grupo N (“nanopartículas” aplicação de selênio na forma de nanopartículas em suspensão na solução de surfactante);

- Grupo S (“sal”, aplicação de selênio na forma de sal dissolvido na solução de surfactante);

Será utilizado como surfactante de triton X-100 a 0,1% em todos os grupos , visando diminuir a tensão superficial da água nas folhas e garantir um maior contato das nanopartículas com a superfície. As aplicações iniciaram no final da fase reprodutiva, caracterizada pelo florescimento (aproximadamente 80 a 100 dias após a germinação). Serão feitas 4 aplicações em cada planta, com um intervalo de 5 dias entre cada aplicação. O regime hídrico será realizado com lâmina d'água de 1 a 3 cm acima do nível do solo, para manter o nível de água as plantas serão regadas diariamente pela manhã . Sempre que as plantas estiverem com as folhas amareladas (indicando deficiência de nutrientes) a solução nutritiva será reaplicada. Após a maturação completa dos grãos, estes serão colhidos e secos a 45°C até o peso se manter constante (Andrade et al., 2018).

#### **4.2. Especificação química de Se nos grãos de arroz cultivados sob a ação de SeNPs**

O processo de extração das espécies de selênio será feito usando como base os trabalhos de Fang et al. (2009) e Pedrero et al. (2011). Será adicionado 250 mg de amostra seca, moída e tamizada (<250 µm) em 5 mL de água mais 25 mg de alfa amilase. A solução ficará em banho ultrassom por 30 minutos a 37°C em seguida será agitada em agitador orbital (100 rpm) durante 2 horas. Logo após esse processo será adicionado 25 mg de protease XIV e ficará durante 2 horas no banho ultrassom a 45°C com agitação constante. Em seguida a solução será centrifugada a 4500 rpm por 20 minutos, o sobrenadante será coletado e filtrado com filtro de 0,2 µm e congelada a -20°C até a análise por HPLC-ICP-MS. Será usada a coluna de troca aniônica Hamilton PRPX-100 (150 mm x 4,6 mm, 5 µm). A fase móvel será formada por 99% citrato de amônio e 1% metanol com pH ajustado em 5. O volume de injeção será 20 µL e a vazão será de 0,4 mL min<sup>-1</sup>. As espécies a serem determinadas serão selenito (Se<sup>4+</sup>), selenato (Se<sup>6+</sup>), selenometionina (SeMet) e selenocisteínas (SeCys).

A porcentagem de espécies de Se (% Se-sp) nos grãos será calculada de acordo com a Equação 1:

$$\% \text{ Se-sp} = (\text{C-Se-sp} \times 100) / (\text{T-Se-sp}).$$
Equação

1

onde % C-Se-sp ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) é a concentração da espécie Se e T-Se-sp ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) é a soma das concentrações das espécies de Se.

#### **4.3. Análise estatística para comparação dos grupos de cultivo**

Os resultados serão avaliados por análise de variância (ANOVA) one-way com o objetivo de verificar se há diferença estatística ( $p < 0,05$ ) entre os grupos. As análises serão realizadas utilizando o software Statistica 8.0 (StatSoft, Tulsa, EUA).

## 5. Cronograma de atividades

### 1. Etapa 1

- a. Plantio do arroz;
- b. Irrigação as plantas de arroz;
- c. Aplicação das nanopartículas de Se na fase de florescimento;
- d. Familiarização com os equipamentos e vidrarias do laboratório;
- e. Escrita do primeiro relatório.

### 2. Etapa 2

- a. Colheita dos grãos;
- b. Preparo das amostras;
- c. Análise das amostras.

### 3. Etapa 3

- a. Análise dos resultados;
- b. Tratamento de dados;
- c. Divulgação do conhecimento;
- d. Escrita do relatório final.

Tabela 1 – Exemplo de cronograma de atividades previstas

Etap	Mês											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1.a.	X	X										
1.b.	X	X	X	X	X	X						
1.c.				X	X	X						
1.d	X	X	X	X	X							
1.e					X	X						
2.a.						X	X					
2.b.							X	X	X			
2.c.							X	X	X			
3.a.									X	X	X	
3.b.									X	X	X	



[illegible]

## Referências

Agência Embrapa de Informação Tecnológica (Ageitec), Disponível em :<<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fe75wint02wx5eo07qw4xeclygdut.html>>. Acesso em 25 Junho 2022.

ALEXANDER, J.. Selenium. In: NORDBERG, Gunnar F.; FOWLER, Bruce A.; NORDBERG, Mônica (Ed.). Manual de Toxicologia de Metais . Imprensa Acadêmica, 2015.

ANDRADE, G. F., PANIZ, F. P., MARTINS, Jr, A. C., ROCHA, B. A., da SILVA LOBATO, A. K., RODRIGUES, J. L., ... & BATISTA, B. L. . Agricultural use of Samarco's spilled mud assessed by rice cultivation: A promising residue use?. Chemosphere, 193, 892-902, 2018.

BATISTA, B. L., NACANO, L. R., de FREITAS, R., de OLIVEIRA-SOUZA, V. C., & BARBOSA, F. Determination of essential (Ca, Fe, I, K, Mo) and toxic elements (Hg, Pb) in Brazilian rice grains and estimation of reference daily intake. Food and Nutrition Sciences, 3(01), 129, 2012.

BATISTA, B. L., NIGAR, M., MESTROT, A., ALVES ROCHA, B., BARBOSA JÚNIOR, F., PRICE, A. H., ... & FELDMANNe, J. Identification and quantification of phytochelatins in roots of rice to long-term exposure: evidence of individual role on arsenic accumulation and translocation. Journal of experimental botany, 65(6), 1467-1479, 2014.

BEILSTEIN, MA; WHANGER, PD; YANG, GQ Formas químicas de selênio em milho e arroz cultivados em uma área rica em selênio da China. Ciências biomédicas e ambientais: BES , v. 4, n. 4, pág. 392-398, 1991.

BORNKAMM, G.W., COPPOLA, V., TESSAROLLO, L., SCHOMBURG, L., KÖHRLE, J.,HATFIELD, D.L., SCHWEIZER, U. . Neuronal selenoprotein expression isrequired for interneuron development and prevents seizures and neurodegeneration. FASEB J. 24:844– 52, 2010.

CASS, Q. B.; DEGANI, A. L. G. Desenvolvimento de métodos por HPLC: fundamentos, estratégias e validação. São Carlos: EdUFSCar, 2001.

COLLINS, C. H.; BRAGA, G. L.; BONATO, P. S. Fundamentos de cromatografia. Campinas: Unicamp, 2006.

DOMENE, Semíramis Martins Álvares et al. Importância nutricional do arroz e do feijão. Arroz e feijão, p. 147, 2021.

FANG, Yong et al. Identification of selenium compounds using HPLC-ICPMS and nano-ESI-MS in selenium-enriched rice via foliar application. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, v. 24, n. 12, p. 1657-1664, 2009.

FARINA, Marcelo. Selênio: funções biológicas e efeitos tóxicos. Ciência e Natura, v. 22, n. 22, p. 59-82, 2000.

GESTAL, Heitor Pontes. Variação genotípica e biofortificação agrônômica com selênio em arroz de terras altas e relações com a qualidade nutricional do grão. 2017.

GOLDHABER, Susan B. Trace element risk assessment: essentiality vs. toxicity. Regulatory toxicology and pharmacology, v. 38, n. 2, p. 232-242, 2003.

GUIMARÃES, Cleber Moraes; FAGERIA, Nand Kumar; BARBOSA FILHO, Morel Pereira. Como a planta de arroz se desenvolve. Informações Agronômicas, Piracicaba, v. 13, n. 99, p. 12, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa de Orçamentos Familiares. Prevalência de consumo alimentar segundo os alimentos: Brasil: período 2008- 2009. Rio de Janeiro, 2011.

JONES, G. D., DROZ, B., GREVE, P., GOTTSCHALK, P., POFFET, D., MCGRATH, S. P., ... & WINKEL, L. H.. Selenium deficiency risk predicted to increase under future climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 114(11), 2848-2853, 2017.

LOUISE, Jessica. Selênio: um micronutriente de “macro” importância. Cientistas feministas, 2018.

OLIVEIRA, Aline Fernandes de. Desenvolvimento e aplicação de análise de especiação química de selênio em amostras agropecuárias. 2016.

PANIZ, Fernanda Pollo. Efeitos no acúmulo de elementos e nos parâmetros agrônômicos em variedades de arroz (Oryza sativa L.) cultivados em solos contendo arsênio e selênio. 2021.

ROLO, Iolanda Pereira da Costa. A importância do selênio na saúde humana. Tese de Doutorado, 2015.

SANTIAGO, Mavyane Baracho; DE SOUZA, Márcio Leandro Ribeiro. Uma revisão sobre a deficiência de selênio e a suscetibilidade às infecções virais com ênfase particular no novo coronavírus. Brazilian Journal of Health Review, v. 3, n. 5, p. 11509-11520, 2020.

SEREÑO, Zepeda; ANDRÉ, Phillippi. Enriquecimento, distribuição e especiação de selênio em cogumelos de Pleurotus spp. 2016.

SZPUNAR, Joanna; LOBINSKI, Ryszard; PRANGE, Andreas. Hyphenated techniques for elemental speciation in biological systems. Applied spectroscopy, v. 57, n. 3, p. 102A-112A, 2003.

TAO, Zhang et al. Study of selenium speciation in selenized rice using high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometer. Chinese Journal of Analytical Chemistry, v. 36, n. 2, p. 206-210, 2008.

UDEN, Peter C. Modern trends in the speciation of selenium by hyphenated techniques. Analytical and bioanalytical chemistry, v. 373, n. 6, p. 422-431, 2002.

VIEIRA, NR de A.; SANTOS, AB dos; SANT'ANA, E. P. A cultura do arroz no Brasil. 1999.

WALTER, Melissa; MARCHEZAN, Enio; AVILA, Luis Antonio de. Arroz: composição e características nutricionais. Ciência Rural, v. 38, p. 1184-1192, 2008.

WANG, Yu-Dong; WANG, Xu; WONG, Yum-Shing. Generation of selenium-enriched rice with enhanced grain yield, selenium content and bioavailability through fertilisation with selenite. Food chemistry, v. 141, n. 3, p. 2385-2393, 2013.

WHANGER, P. D. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. Journal of the American College of Nutrition, v. 21, n. 3, p. 223-232, 2002.

WIRTH, Eva K. et al. A expressão neuronal de selenoproteína é necessária para o desenvolvimento interneurônio e previne convulsões e neurodegeneração. A Revista FASEB , v. 24, n. 3, pág. 844-852, 2010.

WONG, P. T.; CHOI, S. K. Mechanisms of Drug Release in Nanotherapeutic Delivery Systems. Chemical Reviews, v. 115 (9), p. 3388-3432, 2015.