

## Biofortificação agrônômica em variedades de arroz do Pantanal mato-grossense

O selênio (Se) é reconhecido como micronutriente essencial para os animais e os seres humanos, que pode contribuir com a imunidade humana e prevenir alguns tipos de doenças. A produção de arroz enriquecido com Se pode ser uma das formas de fornecimento de Se para o ser humano e, portanto, a compreensão de como o Se pode ser absorvido pelas raízes, transportado para os grãos e ali ficar disponibilizado para ser utilizado como alimento assimilável pelo homem é importante para a segurança alimentar. Assim, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar o efeito da aplicação de doses de selenato de sódio na biofortificação de três variedades de arroz (*Oriza sativa* L.), sendo uma comercial (cv. Esmeralda) e duas provenientes do Pantanal Mato-Grossense (var. Branquinho e Agulhinha Vermelhinho). Verificou-se que a aplicação de Se em concentrações ao redor de 15 g ha<sup>-1</sup> aumentou o crescimento das plantas, o comprimento de panículas, a produção de massa seca da parte aérea e da raiz e a produção de grãos para todas as variedades estudadas. Já o conteúdo de Se nos grãos de arroz polidos, para todas as variedades, aumentou conforme as taxas de Se foram fornecidas via solo. Os efeitos do Se foram dependentes da dose aplicada no solo e que ainda são necessários mais estudos a respeito da biofortificação agrônômica com Se nessas variedades de arroz.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de selênio; *Oriza sativa*; Segurança alimentar; Selenato.

## Agronomic biofortification in rice varieties from the Pantanal mato-grossense

Selenium (Se) is recognized as an essential micronutrient for animals and humans, which can contribute to human immunity and prevent some types of diseases. The production of rice enriched with Se can be one of the ways of supplying Se to the human being and, therefore, the understanding of how Se can be absorbed by the roots, transported to the grains and made available there to be used as assimilable food by man is important for food security. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of the application of doses of sodium selenate in the biofortification of three rice varieties (*Oriza sativa* L.), one commercial (cv. Esmeralda) and two from the Pantanal Mato-Grossense (var. Branquinho and Agulhinha Vermelhinho). It was verified that the application of Se at concentrations around 15 g ha<sup>-1</sup> increased plant growth, panicle length, shoot and root dry mass production and grain yield for all varieties studied. On the other hand, the Se content in the polished rice grains, for all varieties, increased as the Se rates were supplied via soil. The effects of Se were dependent on the dose applied to the soil and that further studies are still needed regarding agronomic biofortification with Se in these rice varieties.

**Keywords:** Harnessing selenium; *Oryza sativa*; Food security; Selenate.

Topic: **Proteção de Plantas e Fitotecnia**

Received: **06/03/2022**

Approved: **29/03/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Ana Cássia Silva Possamai**

Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7037110107076402>  
[anacassiapossamai@unemat.br](mailto:anacassiapossamai@unemat.br)

**Francisco de Almeida Lobo** 

Universidade Federal do Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0296723198831816>  
<https://orcid.org/0000-0002-5670-0351>  
[fdealobo@gmail.com](mailto:fdealobo@gmail.com)

**Renan Previl**

Universidade Federal do Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1290692528058908>  
[previlr1@gmail.com](mailto:previlr1@gmail.com)

**Bruna Regina Blanger**

Universidade Federal do Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3707929624622672>  
[brunaregina\\_blanger@hotmail.com](mailto:brunaregina_blanger@hotmail.com)

**Ruth da Silva Pereira**

Universidade Federal do Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5801970723861027>  
[ruthguaribasilva@gmail.com](mailto:ruthguaribasilva@gmail.com)

**Maiza Peixoto Corrêa da Costa**

Universidade Federal do Mato Grosso, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5229047278886675>  
[maizapcosta@gmail.com](mailto:maizapcosta@gmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.003.0003

### Referencing this:

POSSAMAI, A. C. S.; LOBO, F. A.; PREVIL, R.; BLANGER, B. R.; PEREIRA, R. S.; COSTA, M. P. C.. Biofortificação agrônômica em variedades de arroz do Pantanal mato-grossense. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.3, p.36-46, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.003.0003>

## INTRODUÇÃO

O selênio é reconhecido como micronutriente essencial para os animais e os seres humanos, que pode contribuir com a imunidade humana e prevenir alguns tipos de câncer, redução de doenças neurodegenerativas, doenças cardiovasculares e cerebrovasculares (MÉPLAN et al., 2014; CARDOSO et al., 2015, SORS et al., 2005; TERRY et al., 2000). A deficiência de Se pode provocar algumas doenças como a de Keshan, que é uma cardiomiopatia congestiva, que afeta crianças e mulheres jovens, e a doença de Kashin-Beck, também decorrente de baixos níveis de selênio no organismo, que pode gerar um distúrbio na formação óssea (YANG et al., 2010).

O conteúdo de Se nos alimentos e a quantidade ingerida do mineral é dependente dos hábitos alimentares e da origem geográfica do alimento. Alguns estudos realizados no Brasil demonstraram que o país apresenta divergências no conteúdo mineral nos solos, como nos estados de Mato Grosso e São Paulo que apresentaram um dos menores níveis de selênio, em refeições analisadas em laboratório. Por outro lado, no Amazonas e em Santa Catarina, foram encontradas as maiores concentrações do mineral (COMINETTI et al., 2009).

De maneira geral a ingestão alimentar de selênio no Brasil varia de baixa a adequada (entre 20 e 114 µg/dia), dependendo da região e também do nível socioeconômico da população (FAVARO et al., 1997). Isso está longe da recomendação da Organização Mundial da Saúde (OMS) de 50 a 55 µg por dia para adultos (WHO, 2012).

Uma das estratégias para diminuir a deficiência de Se tem sido aumentar o teor desse elemento nos alimentos, através da biofortificação agronômica (WHITE et al., 2009). A produção de alimentos biofortificados, pode ser uma alternativa para complementar as intervenções em nutrição existentes, proporcionando uma maneira sustentável e de baixo custo para alcançar as populações com limitado acesso aos sistemas formais de mercado e de saúde.

Como uma cultura alimentar básica, o arroz (*Oryza sativa* L.) é o principal cereal produzido e consumido no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. Sua importância é destacada principalmente em países em desenvolvimento, tais como o Brasil, desempenhando papel estratégico em níveis econômico e social. A produção anual de arroz é de aproximadamente 756 milhões de toneladas (USDA, 2021). Nesse cenário, o Brasil participa com 11,755 milhões toneladas (1,56% da produção mundial) e destaca-se na 10ª posição na produção mundial (CONAB, 2021).

Pelo fato de o arroz estar entre as culturas essenciais no mundo e por ser uma fonte de energia, devido à alta concentração de amido, fornecendo também minerais, vitaminas e proteínas, e possui baixo teor lipídicos, essa cultura agrícola apresenta enorme potencial para estudos que visem diminuir a deficiência de Se na população mundial. Os pesquisadores mostram que a cultura do arroz tem a forte capacidade de enriquecer os grãos com selênio (YAN et al., 2021; SONG et al., 2018; BOLDRIN et al., 2012).

Embora o arroz tenha a capacidade sólida de acumular selênio, alguns pesquisadores mostraram que

em baixas concentrações de selênio a planta pode promover crescimento e alta produtividade, e que essas características são inibidas quando há alta concentração de selênio (BOLDRIN et al., 2012; ZHU et al., 2009; TERRY et al., 2000). A absorção pelas plantas e o acúmulo de selênio estão relacionados às formas químicas do Se, selenito e selenato, e das variedades genotípicas de arroz (CHEN et al., 2010; ZHANG et al., 2006).

Levando em consideração que o arroz está entre os alimentos mais consumidos no mundo e que o conteúdo de selênio é de grande importância para a saúde humana, o objetivo que se teve com este trabalho foi o de avaliar o efeito da aplicação de doses de selenato de sódio na biofortificação de três variedades de arroz (*Oriza sativa* L.), sendo uma comercial (cv. Esmeralda) e duas provenientes do Pantanal Mato-Grossense (var. Branquinho e Agulhinha Vermelho).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de janeiro a junho de 2020, em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia e Zootecnia (FAAZ) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus Cuiabá (MT) (latitude 15°38' S, longitude 56°05' W, altitude: 192 m). O clima da região de estudo é do tipo Aw, conforme a classificação de Köppen.

Foram utilizados vasos plásticos de 18 dm<sup>3</sup>, que foram preenchidos com amostras da camada de 0–20 cm de um solo de textura franco argilo arenoso. O solo foi caracterizado química e fisicamente de acordo com Claessen (1997), apresentando 300 g kg<sup>-1</sup> de argila; 500 g kg<sup>-1</sup> de areia; 200 g kg<sup>-1</sup> de silte; pH em água de 5,2; P (Mehlich-1) de 1,4 mg dm<sup>-3</sup>; 2,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca; 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg; 0,23 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K; 0,08 de cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Na; 1,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al; 8,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H+Al; 106,5 g kg<sup>-1</sup> de MO. O teor total de Se foi de <0,001 mg kg<sup>-1</sup>, conforme Brasil (2017).

Com base na análise de solo, foi efetuada a calagem para elevar a saturação de base a 60%, com 2 g de calcário filler por dm<sup>-3</sup> de solo (contendo 30% de CaO, 20% de MgO e PRNT 99%). O solo permaneceu incubado por 30 dias, após esse período foi realizada a aplicação dos tratamentos com selênio juntamente com a adubação básica de plantio com 46 mg de N, 286 mg de P e 83 mg de K por dm<sup>-3</sup> de solo, fornecidos na forma de Ureia [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], superfosfato simples (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (K<sub>2</sub>O). A adubação básica de micronutrientes foi constituída com 115 mg de FTE BR 12 (3% de S, 1,8% de B, 2% de Mn e 9% de Zn) por dm<sup>-3</sup> de solo.

Foram aplicados seis tratamentos com Se (0; 2,5; 5; 7,5; 12,5 e 25 µg dm<sup>-3</sup> de solo) correspondendo a 0, 5, 10, 15, 25 e 50 g ha<sup>-1</sup>, respectivamente, que foram aplicadas na forma de selenato de sódio (Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub>). Os cálculos para adubação foram realizados relacionando o volume de solo contido no vaso com o volume de solo de um hectare, na profundidade de 0,2 m.

Em seguida, foram semeadas dez sementes de arroz por vaso, conforme as variedades utilizadas (esmeralda, branquinho e agulhinha vermelho) e desbastadas para duas plântulas uma semana após a emergência. Durante a condução do experimento, o arroz recebeu adubações de cobertura nas doses de 190 mg de N e 450 mg de K por dm<sup>-3</sup> de solo, divididos em 5 aplicações, fornecidos na forma de ureia e cloreto de potássio. Durante a condução do experimento, a umidade do solo foi mantida por meio de irrigações

diárias para que o solo se mantivesse sempre úmido.

Ao final do experimento, de acordo com o ciclo de cada variedade, (cv. esmeralda ciclo de 104 dias, var. branquinho com ciclo de 115 dias e var. agulhinha vermelho com ciclo de 121 dias), foram realizadas as avaliações de altura de plantas (m), comprimento de panículas (cm), massa seca da parte aérea e raiz ( $\text{g vaso}^{-1}$ ), produção de grãos ( $\text{g vaso}^{-1}$ ) e conteúdo de Se nos grãos ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ).

A altura de plantas foi determinada medindo da superfície do solo até a extremidade da panícula do perfilho mais alto e logo após as panículas foram medidas, da ráquis até extremidade da ramificação mais alta, utilizando uma régua graduada. O material vegetal, parte aérea e raízes das plantas (folhas e raízes), foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 65-70°C, até peso constante, quando foi determinada a massa seca dos materiais vegetais.

Para a produção dos grãos, as panículas das plantas de arroz foram trilhadas e os grãos secados ao sol. Os grãos chochos foram separados e foi realizado a pesagem dos grãos inteiros.

Para a determinação de Se nos grãos, as amostras de arroz foram descascadas, obtendo o arroz polido, em seguida foram moídos em moinho tipo Willey com peneiras de malha de 1,0 mm (40 mesh) e foi realizada a digestão das amostras como descrito por Chilimba et al. (2011). A quantificação de Se foi realizada por ICP – OES (espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado) e a concentração final de Se nos grãos foram convertidos em  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de matéria seca.

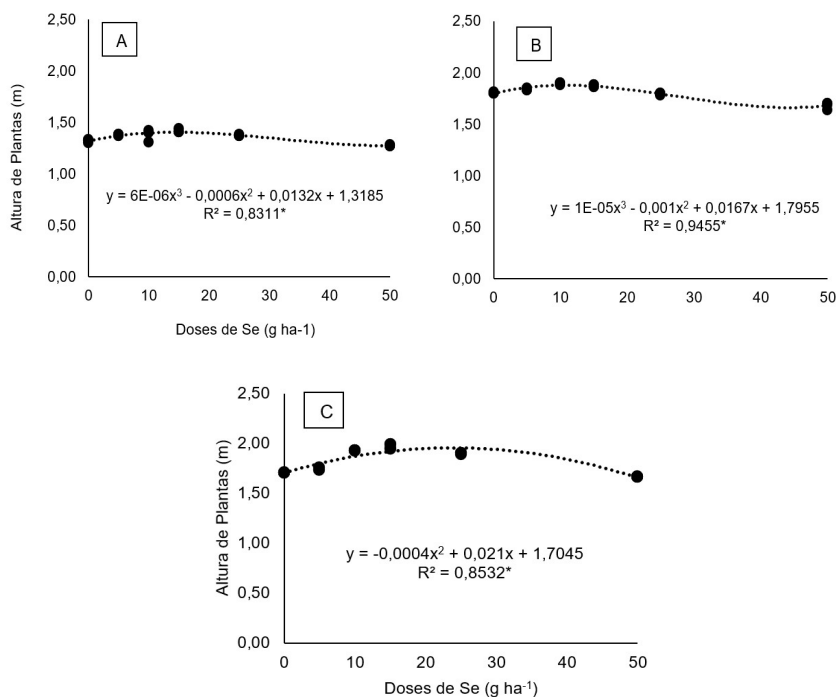
O delineamento experimental utilizado foi de bloco ao acaso, com quatro repetições, disposto em esquema fatorial 3 x 6, sendo três variedades de arroz, sendo duas tradicionais do pantanal Mato-Grossense (Branquinho e Agulhinha vermelho) e uma variedade comercial (Esmeralda), e seis doses de Se (0, 5, 10, 15, 25 e 50  $\text{g ha}^{-1}$ ), com quatro repetições, totalizando 72 parcelas, cada unidade experimental foi constituída por duas plantas por vaso. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ao teste de média (Tukey) e à regressão polinomial com uso do programa SISVAR (FERREIRA, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a altura das plantas a cultivar esmeralda e a variedade agulhinha vermelho, apresentaram resposta crescente até a dose de 15  $\text{g ha}^{-1}$  de Se (Figura 1 – A e C), a qual proporcionou aumento de 7,5% e 15% respectivamente, quando comparado ao tratamento sem Se (0  $\text{g ha}^{-1}$ ). Contudo, para a variedade branquinho observou que a resposta crescente foi até a dose de 10  $\text{g ha}^{-1}$  de Se, com aumento no crescimento das plantas de 5% em relação ao tratamento controle, sem Se (Figura 1 - B). A aplicação de Se no solo em níveis mais baixos (5 – 15  $\text{g ha}^{-1}$ ) aumentou significativamente o crescimento das plantas de arroz (Figura 1).

O crescimento das plantas, que foram submetidas a aplicações adequadas de Se, podem estar associadas a fatores fisiológicos. Em seu trabalho com plantas de alface (*Lactuca sativa*), Xue et al. (2001) constataram que o efeito positivo do Se no crescimento das plantas esteve associado ao incremento na capacidade antioxidante e na redução de peroxidação lipídica apresentado pelas mesmas. Os autores também observaram que o efeito antioxidante do Se está associado ao aumento as atividade da glutathiona peroxidase. Já Turakainen et al. (2004), trabalhando com batata (*Solanum tuberosum* L.), verificaram que o

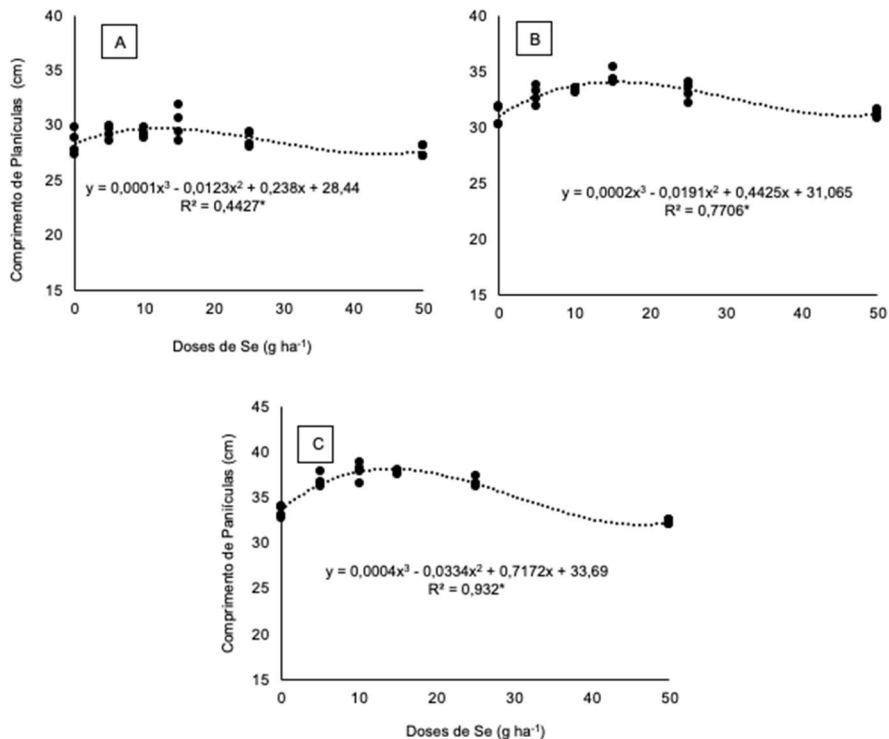
Se aumenta o acúmulo de amido e açúcares nas plantas, assim podendo inferir no nível de exportação dos fotoassimilados produzidos, que pode ter sido aumentado, o qual ajuda a explicar o maior crescimento apresentados por essas plantas.



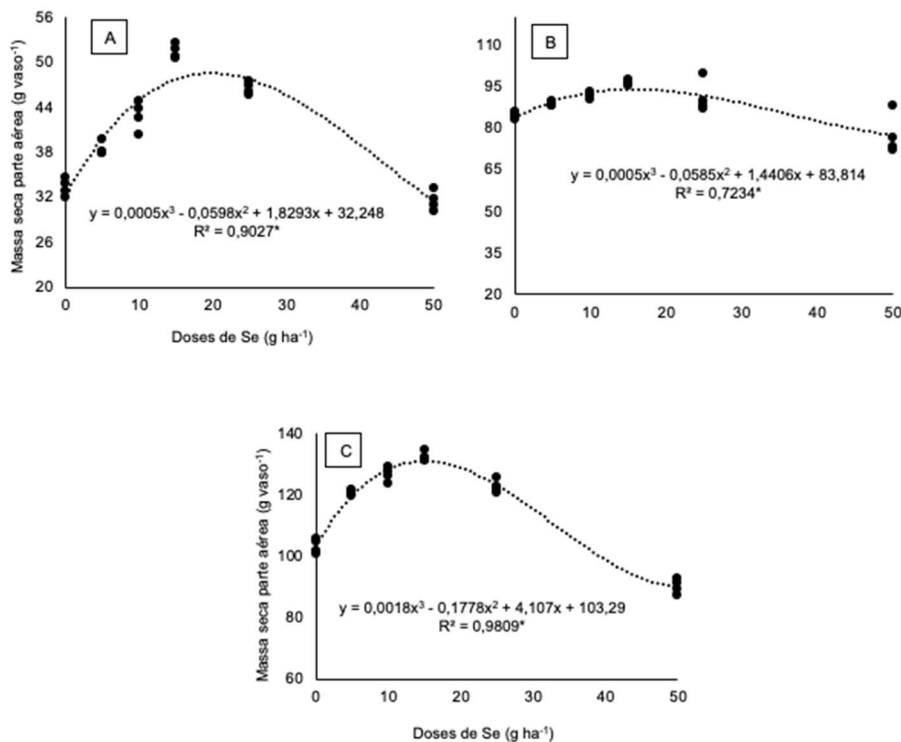
**Figura 1:** Altura de planta em plantas de arroz (A- Esmeralda, B – Branquinho, e C – Agulhinha Vermelho) em função da aplicação de doses de Se. \*Significativo pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O comprimento de panículas seguiu praticamente o mesmo padrão da altura das plantas, aumentando até a dose de 15g ha<sup>-1</sup> na proporção de 6, 10 e 12% para a cultivar esmeralda e as variedades branquinho e agulhinha vermelho, respectivamente, quando comparado ao tratamento sem Se (0 g ha<sup>-1</sup>). A biofortificação de selênio nas plantas também pode aumentar a produção e a qualidade dos produtos vegetais comestíveis, como observado em folhas de chá verde (XU et al., 2003) e no arroz (XU et al., 2004). Assim, a biofortificação com Se pode ser benéfica não apenas para o valor nutritivo na cadeia alimentar, mas também para a qualidade da colheita e, sob certas circunstâncias, a produtividade.

Assim como verificado para a altura total e o tamanho de panículas, a produção de massa seca da parte aérea e massa seca da raiz também seguiram tendência de incremento até a dose de 15 g ha<sup>-1</sup>. Houve redução na produção de massa seca da parte aérea e na produção de raízes, ao se comparar as maiores doses de Se com o tratamento ao tratamento sem Se (0 g ha<sup>-1</sup>), Figura 3 e 4. A adição de selênio na adubação do solo, em quaisquer doses, não causaram sinais de toxicidade nas plantas de arroz em todo período de desenvolvimento em casa de vegetação. Trabalhos realizados com baixas concentrações de Se ( $\leq 15$  g ha<sup>-1</sup>) mostraram que a produção de matéria seca da parte aérea e/ou massa seca da raiz aumentou em plantas de batata, alface, arroz, alho e trigo (OLIVEIRA et al., 2019; TURAKAINEN et al., 2004; BOLDRIN et al., 2012).



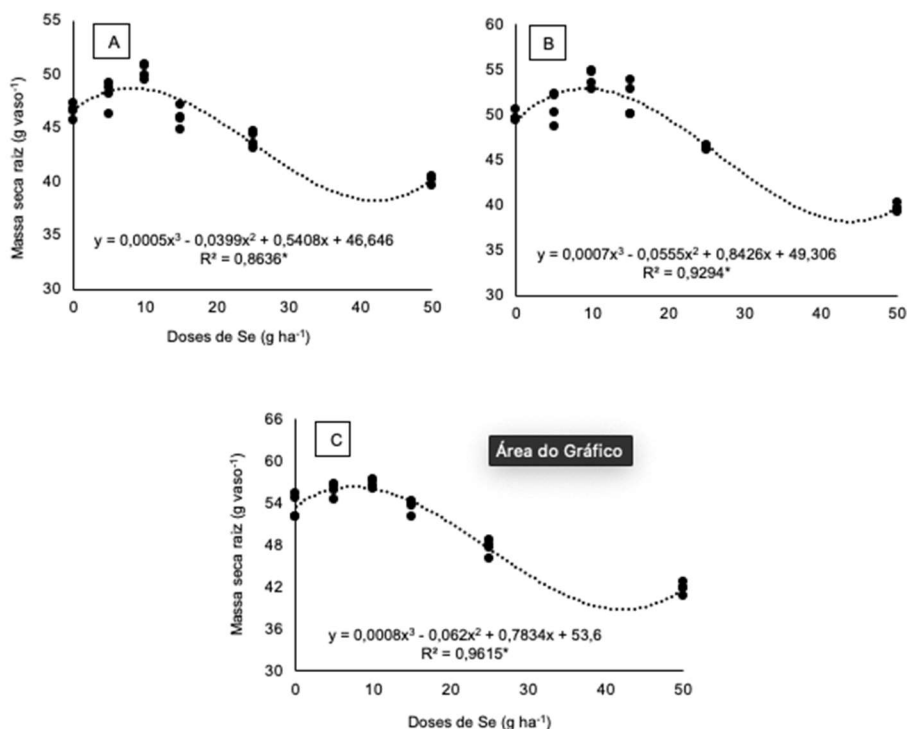
**Figura 2:** Comprimento de Panículas em plantas de arroz (A- Esmeralda, B – Branquinho, e C – Agulhinha Vermelho) em função da aplicação de doses de Se. \*Significativo pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.



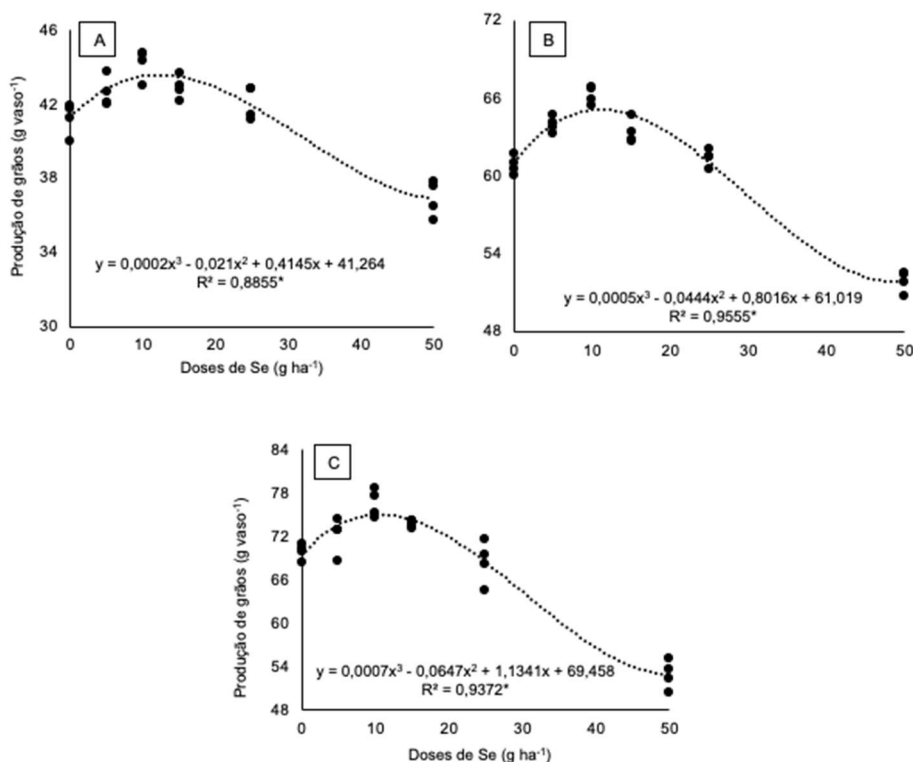
**Figura 3:** Massa seca parte aérea em plantas de arroz (A- Esmeralda, B – Branquinho, e C – Agulhinha Vermelho) em função da aplicação de doses de Se. \*Significativo pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Quanto para a produção de grãos, o maior rendimento foi obtido na dose de 10 g ha<sup>-1</sup> de Se para todas as variedades de arroz, ou seja, houve aumento de aproximadamente de 8, 9 e 10% na produção dos grãos para a cultivar esmeralda e as variedades branquinho e agulhinha vermelho, respectivamente, quando comparado ao tratamento sem Se (0 g ha<sup>-1</sup>), Figura 5. No entanto, na maior dose aplicada (50 g ha<sup>-1</sup>), houve redução de 11, 15 e 25% na produção dos grãos para a cultivar esmeralda e as variedades branquinho e

agulhinha vermelho respectivamente, o que pode ter sido causada pela ação pró-oxidante do Se quando aplicado em altas doses, gerando um aumento na concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e peroxidação lipídica (PUCCINELLI et al., 2017; RAMOS et al., 2011).



**Figura 4:** Massa seca da raiz em plantas de arroz (A- Esmeralda, B – Branquinho, e C – Agulhinha Vermelho) em função da aplicação de doses de Se. \*Significativo pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.



**Figura 5:** Produção de grãos em plantas de arroz (A- Esmeralda, B – Branquinho, e C – Agulhinha Vermelho) em função da aplicação de doses de Se. \*Significativo pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os pesquisadores Zhang et al. (2014), mostraram que a produção dos grãos de arroz, aumentaram significativamente conforme foi aumentando gradativamente as doses de Se (até 50 g ha<sup>-1</sup>), no entanto, à

medida que foram aplicadas concentrações mais altas de Se ( $> 50 \text{ g ha}^{-1}$ ), os rendimentos de grãos diminuíram, corroborando com os resultados encontrados. Diferenças significativas na produção de grãos também foram observadas por Ekanayake et al. (2015), que realizaram um estudo com genótipos de lentilha (*Lens culinaris*). Com aplicação de baixas concentrações de Se (até  $30 \text{ g ha}^{-1}$ ), estes pesquisadores verificaram que a produção dos grãos de lentilha e a atividade antioxidante aumentaram em comparação com o tratamento controle sem Se ( $0 \text{ g ha}^{-1}$ ).

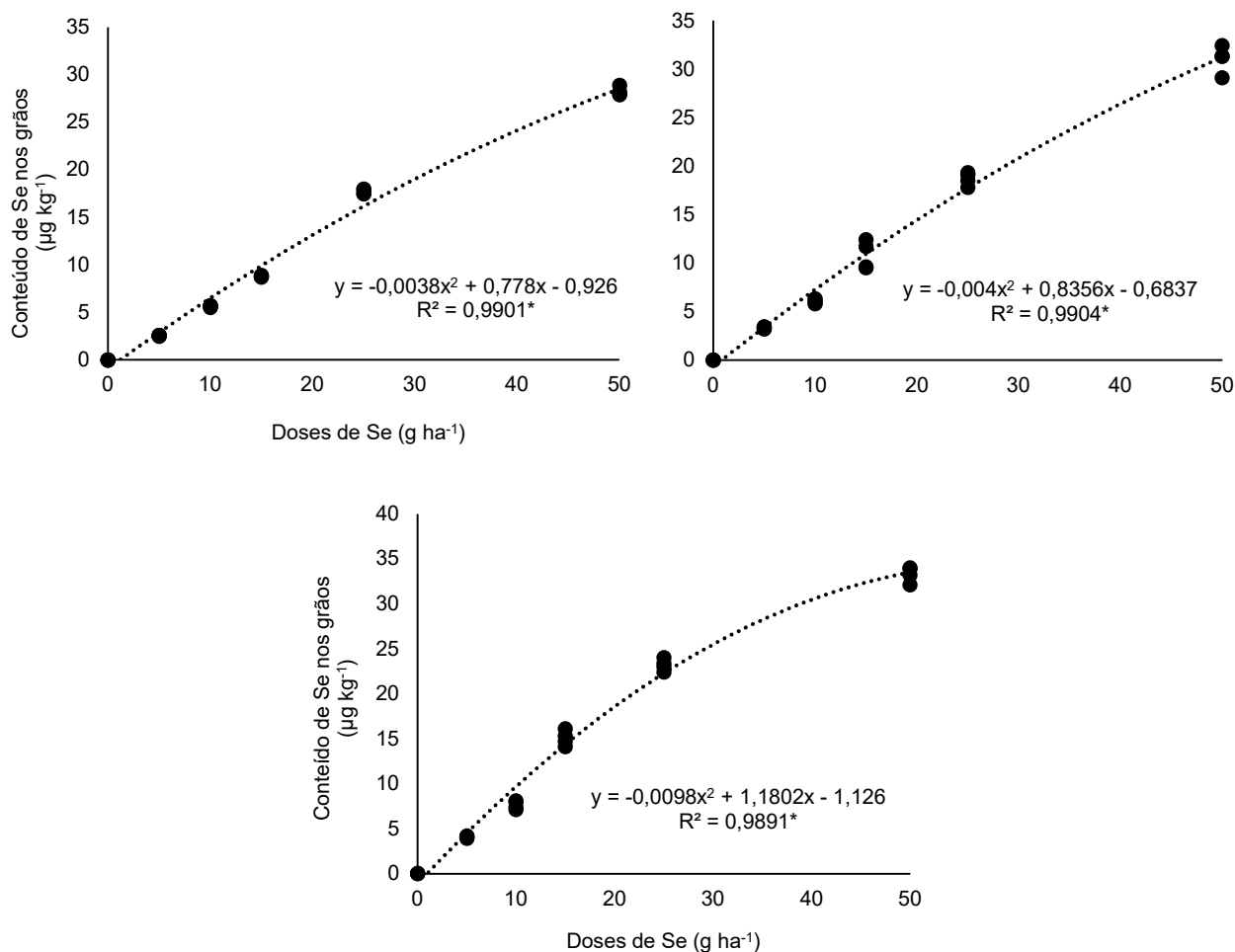
Desta maneira, o selênio desempenha um papel importante para estimular o sistema antioxidante das plantas, em baixos níveis de concentração, mas atua como um pró-oxidante em níveis de concentração elevados (PUCCINELLI, et al., 2017; BOLDRIN et al., 2012; HAN et al. 2013; RAMOS et al., 2011; XU et al., 2004; XUE et al., 2003). Desta forma, presume-se que o efeito do Se sobre a capacidade antioxidante das plantas pode depender das variedades de culturas estudadas, das fontes de Se estudada e de sua concentração nas plantas.

O conteúdo de Se nos grãos de arroz polidos, para todas as variedades, aumentou conforme as taxas de Se foram fornecidas via solo (Figura 6). Apesar do conteúdo de Se nos grãos polidos aumentar conforme as doses aplicadas via solo, nota-se que a concentração de Se nos grãos foram baixas, de aproximadamente 28,3; 31,0 e 33,3  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , para a cultivar esmeralda e as variedades branquinho e agulhinha vermelho, respectivamente, na maior dose de Se aplicada ( $50 \text{ g ha}^{-1}$ ) (Figura 6).

De acordo com a recomendação da OMS (WHO, 2012), a ingestão diária mínima de Se para adultos é de 50 a 55  $\mu\text{g}$  por dia para adultos. No presente trabalho, o teor de Se encontrado nos grãos de arroz, na maior dose aplicada, pode contribuir com parte da ingestão diária de Se em, aproximadamente, 3,1; 2,9 e 3,6  $\mu\text{g}$  de Se, considerando o consumo *per capita* de 108  $\text{g dia}^{-1}$ . No entanto, é importante considerar, que a maior dose de Se aplicada houve redução no crescimento e produção nas plantas de arroz para todas as variedades estudadas. Desta maneira, ainda são necessários mais estudos a respeito da biofortificação agronômica com Se nestas variedades de arroz, para adequação das doses a serem aplicadas, para maior segurança alimentar e bom desenvolvimento da cultura.

A baixa mobilidade do Se até aos grãos pode estar relacionada ao processo de sorção do solo, que podem ter reduzido a disponibilidade de Se e sua absorção pela raiz. Em solos tropicais, como os do bioma Cerrado Brasileiro, apresentam elevados teores de óxidos de ferro e alumínio, o que aumenta a capacidade de adsorção de Se (LESSA et al., 2016). Assim, o teor de óxidos de ferro e alumínio do solo pode ser o principal fator responsável pela baixa transferência de Se do solo para os grãos de arroz. De acordo com Haug et al. (2007), o Se aplicado via solo é rapidamente convertido em formas indisponíveis, resultando na absorção de uma pequena fração (até 10%) pelas plantas, o restante do Se aplicado pode estar envolvido em diversos processos, como volatilização, lixiviação, adsorção nas partículas do solo e seu acúmulo em outros órgãos da planta como raízes e folhas. No entanto, a porcentagem de uso de Se pode chegar a até 18% nas lavouras de grãos (LYONS et al., 2004).





**Figura 6:** Conteúdo de Se nos grãos de arroz polidos (A- Esmeralda, B – Branquinho, e C – Agulhinha Vermelho) em função da aplicação de doses de Se. \*Significativo pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Outro fator que também pode contribuir com a baixa concentração do Se encontrada nos grãos, é que no arroz, como em qualquer outra cultura de cereais, os micronutrientes são armazenados quase exclusivamente na casca, camada de aleurona e embrião (LUCCA et al., 2006). Assim, é possível inferir que, em parte, as perdas de nutrientes durante o processamento do grão podem ser reduzidas pela ingestão de arroz integral. De acordo com Lu et al. (2013), as perdas de nutrientes devido ao processamento do arroz (descascamento e polimento) podem chegar a 43% para Zn, 65% para Fe e de 85 a 92% para K, Ca e Mn; e de 53 a 57% para Se (LESSA et al., 2020).

## CONCLUSÃO

As variedades de arroz não comerciais (Branquinho e Agulhinha Vermelho) apresentaram comportamento similar à cultivar comercial (Esmeralda) quanto à biofortificação com selênio na forma química de selenato de sódio. A concentração de  $15 \text{ g ha}^{-1}$  foi a que promoveu maior crescimento das plantas. Entretanto, as doses superiores apesar de não afetarem a altura e o comprimento das panículas, condicionaram a redução na massa seca do sistema radicular, da parte aérea e dos grãos.

Porém, ainda são necessários mais estudos a respeito da biofortificação agrônômica com Se nessas variedades de arroz, como a utilização do grão integral ao invés do grão polido; a realização do experimento

em campo; uso de outras fonte de Se; e diversificação da forma de aplicação do Se na cultura, adubação e/ou foliar, para assim poder obter maior aproveitamento do Se e maior segurança alimentar. O cultivo em vaso serve apenas como uma avaliação exploratória. Experimentos em campo precisam ser desenvolvidos para avaliar as dosagens mais adequadas de Se para as variedades estudadas.

## REFERÊNCIAS

- 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 na produção e biofortificação agronômica com selênio em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.6, p.831-837, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: MAPA, 2017.
- CHEN, Q.; SHI, W.; WANG, X.. Selenium speciation and distribution characteristics in the rhizosphere soil of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.41, n.12, p. 1411-1425, 2010.
- CHILIMBA, A. D. C.; YOUNG, S. D.; BLACK, C. R.; ROGERSON, K. B.; ANDER, E. L.; WATTS, M. J.; LAMMEL, J.; BROADLEY, M.. R.. Maize grain and soil surveys reveal suboptimal dietary selenium intake is widespread in Malawi. **Scientific Reports**, v.72, n.1, p.1-9, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep00072>
- CLAESSEN, M. E. C.. **Novos métodos de análise microbiológica de alimentos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.
- COMINETTI, C.; COZZOLINO, S. M. F.. Funções plenamente reconhecidas de nutrientes: Selênio. **ILSI Brasil**, v.8, 2009.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Café**. Brasília: Boletim da Safra 2021, 2021.
- EKANAYAKE, L. J.; THAVARAJAH, D.; VIAL, E.; SCHATZ, B.; MCGEE, R.; THAVARAJAH, P.. Selenium fertilization on lentil (*Lens culinaris Medikus*) grain yield, seed selenium concentration, and antioxidant activity. **Field Crops Research**, v.177, p.9-14, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.002>
- ELLIS, D. R.; SALT, D. E.. Plants, selenium and human health. **Current Opinion in Plant Biology**, v.6, n.3, p.273-279, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00030-X)
- HAUG, A.; GRAHAM, R. D.; CHRISTOPHERSEN, O. A.; LYONS, G. H.; HAUG, A.; GRAHAM, R. D.; CHRISTOPHERSEN, O. A.; GRAHAM, H.. How to use the world 's scarce selenium resources efficiently to increase the selenium concentration in food. **Microbial Ecology in Health and Disease**, v.2235, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/08910600701698986>
- LESSA, J. H. L.; ARAUJO, A. M.; SILVA, G. N. T.; GUILHERME, L. R. G.; LOPES, G.. Chemosphere Adsorption-desorption reactions of selenium (VI) in tropical cultivated and uncultivated soils under Cerrado biome. **Chemosphere**, v.164, p.271-277, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.106>
- LU, L.; TIAN, S.; LIAO, H.; ZHANG, J.; YANG, X.; LABAVITCH, J. M.; CHEN, W.. Analysis of Metal Element Distributions in Rice (*Oryza sativa* L.) Seeds and Relocation during Germination Based on X-Ray Fluorescence Imaging of Zn , Fe, K, Ca, and Mn. **Plos One**, v.8, n.2, p.1-9, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057360>
- LUCCA, P.; POLETTI, S.; SAUTTER, C.. Genetic engineering approaches to enrich rice with iron and vitamin A. **Physiologia Plantarum**, v.126, p.291-303, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00609.x>
- LYONS, G. H.; LORIMER, M.; HEALTH, S. A.; STANGOULIS, J.. High-selenium wheat: Agronomic biofortification strategies to improve human nutrition. **Food, Agriculture & Environment**, v.2, n.1, 2004.
- OLIVEIRA, V. C.; FAQUIN, V.; ANDRADE, F. R.; CARNEIRO, J. P.; PEREIRA, J.; ROBERTO, L.; GUILHERME, G.. Physiological and Physicochemical Responses of Potato to Selenium Biofortification in Tropical Soil. **Potato Research**, v.62, p.315-331, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-019-9413-8>
- PUCCINELLI, M.; MALORGIO, F.; PEZZAROSSA, B.. Selenium Enrichment of Horticultural Crops. **Molecules**, v.22, n.392 p.1-18, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22060933>
- RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; GUILHERME, L. R. G.; CASTRO, E. M.; ÁVILA, F. W.; CARVALHO, G. S.. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. **Plant Soil Environ**, v.56, n.12, p.584-588, 2010.
- RAMOS, S. J.; RUTZKE, M. A.; HAYES, R. J.; FAQUIN, V.; ROBERTO, L.; LI, G. G. Selenium accumulation in lettuce germplasm. **Planta**, v.233, p.649-660, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-010-1323-6>
- SONG, T.; SU, X.; HE, J.; LIANG, Y.; ZHOU, T.; LIU, C.. Selenium (Se) uptake and dynamic changes of Se content in soil-plant systems. **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, p.34343-34350, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3373-4>
- SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E.. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynthesis Research**, v.86, p.373-389, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11120-005-5222-9>
- TERRY, N.; ZAYED, M. P. S.; TARUN, A. S.. Selenium In Higher Plants. **Plant Molecular Biology**, v.51, p.401-432, 2000.
- TURAKAINEN, M.; HARTIKAINEN, H.; SEPPÄNEN, M. M.. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, n.17, p.5378-5382, 2004. DOI:

<https://doi.org/10.1021/10.1021/jf040077x>

USDA. **Grain and Feed Update**. Bangladesh, 2021.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R.. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - Iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v.182, p.49-84, 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x>

XU, J.; HU, Q.. Effect of Foliar Application of Selenium on the Antioxidant Activity of Aqueous and Ethanolic Extracts of Selenium-Enriched Rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, n.6, p.1759-1763, 2004. DOI:

<https://doi.org/10.1021/jf0349836>

XU, J.; YANG, F.; CHEN, L.; HU, Y.; HU, Q.. Effect of Selenium on Increasing the Antioxidant Activity of Tea Leaves Harvested during the Early Spring Tea Producing Season. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, n.4, p.1081-1084, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf020940y>

XUE, T.; HARTIKAINEN, H.; PIIRONEN, V.. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. **Plant and Soil**, v.237, p.55-61, 2001.

YAN, J.; CHEN, X.; ZHU, T.; ZHANG, Z.; FAN, J.. Effects of

selenium fertilizer application on yield and selenium accumulation characteristics of different Japonica rice varieties. **Sustainability (Switzerland)**, v.13, n.18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131810284>

YANG, J.; WANG, T.; WU, C.; LIU, C.. Selenium level surveillance for the year 2007 of keshan disease in endemic areas and analysis on surveillance results between 2003 and 2007. **Biological Trace Element Research**, v.138, p.53-59, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8609-1>

ZHANG, L. H.; SHI, W. M.; WANG, X. C.. Difference in Selenium Accumulation in Shoots of Two Rice Cultivars. **Pedosphere**, v.16, n.5, p.646-653, 2006.

ZHANG, M.; TANG, S.; HUANG, X.; ZHANG, F.; PANG, Y.. Selenium uptake , dynamic changes in selenium content and its influence on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in rice (*Oryza sativa* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v.107, p.39-45, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.05.005>.

ZHU, Y. G.; PILON-SMITS, E. A. H.; ZHAO, F. J.; WILLIAMS, P. N.; MEHARG, A. A.. Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. **Trends in Plant Science**, v.14, n.8, p.436-442, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.06.006>

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea ([https://opensea.io/HUB\\_CBPC](https://opensea.io/HUB_CBPC)), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

*The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).*



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157787910638927873/>