

Acessibilidade de selênio após simulação gastrointestinal *in vitro* em genótipos de arroz biofortificados com selênio

Accessibility of selenium after *in vitro* gastrointestinal simulation in biofortified rice genotypes with selenium

Accesibilidad del selenio después de simulación gastrointestinal *in vitro* en genotipos de arroz biofortificado con selenio

Recebido: 10/10/2022 | Revisado: 30/10/2022 | Aceitado: 05/12/2022 | Publicado: 13/12/2022

Ana Cássia Silva Possamai

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8785-8362>
Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
E-mail: anacassiapossamai@unemat.br

Francisco de Almeida Lobo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5670-0351>
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
E-mail: fdealobo@gmail.com

Renan Previn

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6618-6261>
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
E-mail: previlr1@gmail.com

Stephani dos Santos Perius

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6694-554X>
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
E-mail: stephani-2402@hotmail.com

João de Paula Liparotti

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4640-6431>
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
E-mail: jp_liparotti@hotmail.com

Maressa Caldeira Morzelle

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8841-6630>
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
E-mail: maressamorzelle@hotmail.com

Yasmin Ourives Domingues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5534-3014>
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
E-mail: yasminourivesd@gmail.com

Maria da Graça Tomás

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4106-9787>
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil
E-mail: mdagraca.tomas@gmail.com

Resumo

A biofortificação com selênio é uma estratégia agrônômica que visa aumentar os níveis desse mineral nos alimentos. Entretanto, além da quantidade de selênio (Se) nas partes comestíveis da planta, há a necessidade de se avaliar quanto do elemento desejável presente no alimento estaria disponível para ser assimilado pelo organismo. Considerando o alto consumo global de arroz e a eficiência de recuperação de Se demonstrada pelo arroz em estudos de biofortificação, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a produção e conteúdo de Se de grãos de arroz, teor de fenólicos totais e a acessibilidade do selênio de três variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) biofortificadas com selênio. Foram utilizadas duas etnovariedades oriundas do Pantanal Mato-Grossense (Branquinho e Agulhinha Vermelho) e uma cultivar comercial (Esmeralda), biofortificadas agronomicamente com selenato de sódio (50 g ha⁻¹). Foram avaliados os parâmetros: Produção de grãos (g planta⁻¹), concentração de Se total (µg 100 g⁻¹ de grãos), fenólicos totais (µg EAG 100 g⁻¹ MS), concentração de Se após TGI (simulação gastrointestinal *in vitro*) e acessibilidade (%) de Se. As etnovariedades Agulhinha Vermelho e Branquinho apresentaram maior produtividade, concentração de total Se em grãos crus e concentração de Se após TGI. Já a cultivar comercial, Esmeralda, apresentou maior concentração de fenólicos totais e a porcentagem de acessibilidade de Se, no entanto todos os genótipos apresentaram acessibilidade de Se acima de 60%.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; Selenato de sódio; Simulação gastrointestinal *in vitro*; Digestão; Etnovariedades.

Abstract

Biofortification with selenium is an agronomic strategy that aims to increase the levels of this mineral in food. However, in addition to the amount of selenium in the plant, there is a need to also assess how much of the desirable element present in the food would be available to be assimilated by the organism. Considering the high global consumption of rice and the efficiency demonstrated by rice in biofortification studies, the objective of this research was to evaluate grain yield, total phenolic content and selenium accessibility of three rice varieties (*Oryza sativa* L.) biofortified with selenium. Two ethnovarieties from the Mato-Grossense swamp (Branquinho and Agulhinha Vermelho) and grow crops commercial (Esmeralda) were used, agronomically biofortified with sodium selenate (50 g ha⁻¹). The following parameters were evaluated: Grain yield (g plant⁻¹), total Se concentration (µg 100 g⁻¹ grain), total phenolics (µg EAG 100 g⁻¹ MS), Se concentration after TGI (*in vitro*) and accessibility (%) of Se. The ethnovarieties Agulhinha Vermelho and Branquinho showed higher productivity, total Se concentration in raw grains and Se concentration after TGI. The grow crops commercial, Esmeralda, presented the highest concentration of total phenolics and the percentage of Se accessibility, however all genotypes presented Se accessibility above 60%.

Keywords: *Oryza sativa* L.; Selenate sodium; Simulation gastrointestinal *in vitro*; Digestion; Ethnovarieties.

Resumen

La biofortificación con selenio es una estrategia agronómica que tiene como objetivo aumentar los niveles de este mineral en los alimentos. Sin embargo, además de la cantidad de selenio (Se) en la planta, también es necesario evaluar qué cantidad del elemento deseable presente en el alimento estaría disponible para ser asimilado por el organismo. Considerando el alto consumo mundial de arroz y la eficiencia demostrada por el arroz en estudios de biofortificación, el objetivo de esta investigación fue evaluar la producción y el contenido de Se de los granos de arroz, el contenido de fenoles totales y la accesibilidad al selenio de tres variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) biofortificado con selenio. Se utilizaron dos etnovarietades del pantano Mato-Grossense (Branquinho y Agulhinha Vermelho) y un cultivar comercial (Esmeralda), agronómicamente biofortificados con selenato de sodio (50 g ha⁻¹). Se evaluaron los siguientes parámetros: rendimiento de grano (g planta⁻¹), concentración de Se total (µg 100 g⁻¹ grano), fenoles totales (µg EAG 100 g⁻¹ MS), concentración de Se después de TGI (*in vitro*) y accesibilidad (%) de Se. Las etnovarietades Agulhinha Vermelho y Branquinho presentaron mayor productividad, concentración de Se total en granos crudos y concentración de Se después de TGI. El cultivar comercial Esmeralda presentó la mayor concentración de fenoles totales y el porcentaje de accesibilidad de Se, sin embargo todos los genotipos presentaron accesibilidad de Se superior al 60%.

Palabras clave: *Oryza sativa* L.; Selenato de sodio; Simulación gastrointestinal *in vitro*; Digestión; Etnovarietades.

1. Introdução

O selênio (Se) é um micronutriente essencial para os seres humanos, atuando como um antioxidante mineral, protegendo células e tecidos dos danos causados pelo oxigênio, e desempenha um papel ativo nas defesas do sistema imunológico, reduzindo o risco de infecções virais (Jayawardena et al., 2020). Atualmente, acredita-se que o Se seja benéfico em concentrações mais baixas, apresentando toxicidade em concentrações mais altas é tóxico. A recomendação da Organização Mundial da Saúde (OMS) é de 50 a 55 µg por dia para indivíduos humanos adultos (WHO, 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. O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma cultura agrícola com potencial para estudos de biofortificação por ser um alimento básico, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. A produção anual de arroz é de aproximadamente 756 milhões de toneladas (USDA, 2021).

A eficácia da biofortificação agrônômica do arroz com o Se foi relatada em vários estudos (Lessa et al., 2019; Song et al., 2018; Yan et al., 2021). Entretanto, as informações sobre a concentração total de um elemento químico nos alimentos não é uma informação suficiente para determinar se o alimento irá suprir as necessidades nutricionais dos seres humanos, pois as quantidades de nutrientes ingeridas nem sempre são efetivamente absorvidas (Delaqua et al., 2022; Pereira et al., 2018).

Nesse sentido, estudos de acessibilidade estão em desenvolvimento para entender como os níveis desses elementos alvos são liberados na matriz alimentar e estão potencialmente disponíveis para absorção e metabolização. Nesses estudos, uma fração acessível refere-se à quantidade do composto ou elemento que é liberado de sua matriz e é solúvel no trato

gastrointestinal, tornando-o disponível para absorção pelo epitélio intestinal (Etcheverry et al, 2012).

Os estudos de acessibilidade podem ser realizados com estudos clínicos, ensaios *in vivo* com animais, ou *in vitro* em laboratório. Os ensaios clínicos e estudos *in vivo* apresentam alto custo e muitas vezes são limitados por questões éticas (He e Zheng, 2010). Como alternativa, métodos *in vitro* têm sido propostos para avaliar as frações acessíveis de compostos nutricionais em alimentos. Em estudos *in vitro*, o principal desafio é alcançar condições mais semelhantes possíveis às *in vivo*. Desta maneira, o método *in vitro* simula as condições físico-químicas e fisiológicas que ocorrem no trato digestivo humano e são utilizados reagentes bioativos para preparar agentes digestivos, como saliva, suco gástrico, suco duodenal e suco biliar. Então podem ser simuladas as três etapas da digestão gastrointestinal (digestão na boca, estômago e intestino) (Peixoto et., 2013; Pereira et al., 2018).

Estudos realizados com Se, em grãos de trigo, demonstraram que a fração acessível de Se aumenta conforme o aumento de Se nos grãos e representou, em média 63,6 a 93,8% da fração total (Delaqua et al., 2022). No entanto, experimento de biodisponibilidade mostraram que aproximadamente 65% do Se não é absorvido pelo corpo humano e que apenas cerca de 19,6% é absorvido. Assim demonstrando que os teores nutricionais dos alimentos biofortificados devem levar em consideração as frações acessíveis e disponíveis pelo organismo e não apenas os teores totais estabelecidos por lei (Delaqua et al., 2022).

Outros compostos bioativos como compostos fenólicos podem ser obtidos através da ingestão de arroz. Os fenólicos são importantes antioxidantes, atuando na prevenção de doenças como o câncer (Pacheco et al., 2020). Por se tratar de um alimento básico, o arroz pode ser um valioso alimento para o fornecimento de compostos fenólicos, podendo a biofortificação acentuar a produção destes compostos nos grãos.

Desta maneira, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a produção de grãos, o conteúdo teor de fenólicos totais e a acessibilidade do selênio de três variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) biofortificadas com selênio.

2. Metodologia

2.1 Amostras de Arroz

As amostras de arroz utilizadas foram provenientes da pesquisa desenvolvida 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), conforme descrito por Possamai et al. (2022).

Foram utilizadas três variedades de arroz, com 4 repetições, sendo duas etnovarietades do pantanal Mato-Grossense (Branquinho e Agulhinha Vermelho) e uma variedade comercial (cv. Esmeralda) biofortificadas. A biofortificação foi realizada com adubação de selenato de sódio (Na_2SeO_4), com a aplicação de 50 g ha^{-1} no solo (Possamai et al., 2022). O produto comercial aplicado apresentou as características de 98,40% selenato de sódio (base seca), com 41,12% de selênio (base seca), 0,05 ppm chumbo e aspecto pó cristalino branco, conforme o fabricante INCASA (lote 121-001/19).

2.2 Produção e concentração de Se em grãos

Ao final do ciclo da cultura, a cultivar comercial Esmeralda com ciclo de 104 dias e as etnovarietades Branquinho com ciclo de 115 dias e Agulhinha Vermelho com ciclo de 121 dias (Possamai et al., 2022), foram realizadas as avaliações de produção de grãos (g planta⁻¹) e concentração de Se μg em 100 g de grãos crus.

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

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 0,420 mm (40 mesh) e foi realizada a digestão das amostras

como descrito por Chilimba et al. (2011). As amostras foram armazenadas e mantidas em freezer a -18 °C, até o momento da realização da análise de quantificação do Se.

2.3 Cozimento do arroz

As amostras de arroz polidas foram submetidas ao cozimento na proporção arroz: água destilada de 1:6 (p/v) em uma temperatura constante de 90 °C. Foi considerado o grão cozido quando pelo menos 90% dos grãos, em uma amostra de 10 grãos, não apresentavam mais um núcleo opaco ou um centro cru, quando pressionados entre duas placas de vidro e observados com a luz polarizada (Paraginski et al., 2014). As amostras foram armazenadas a -18 °C, em recipiente fechados, até o momento das análises.

2.4 Fenólicos totais

Para determinações de fenólicos totais, um extrato etanólico (100 mg/ml) foi preparado com solução de etanol 80%, utilizando as amostras trituradas de arroz cozido, na proporção 1:10 (m/v), sob agitação constante (180 rpm/1h/4 °C), em incubadora Shaker refrigerada (NT 735, Novatecnica) mantida sob proteção da luz. Após, foram centrifugadas na centrífuga refrigerada (Hettich, modelo Rotina 380R, Tuttlingen, Alemanha) a 17900 g por 5 min a 5 °C, como descrito por Pereira e Tavano (2014). Os sobrenadantes foram armazenados à -18 °C, em frascos de vidro envoltos em papel de alumínio até o momento das análises.

Os teores de fenólicos totais solúveis nos extratos foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu, usando o ácido gálico como padrão, conforme a metodologia de Woisky e Salatino (1998). Em um tubo de ensaio protegido de iluminação, uma alíquota de 500µl de extrato foi adicionada em 2,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu (Sigma) a 10% (v/v), seguido de agitação e repouso. Após 5 minutos, foi adicionado 2 mL de solução de carbonato de sódio (Cromato Produtos Químicos) a 4% (m/v), seguida de agitação e repouso. Após duas horas, a absorbância foi medida em espectrofotômetro (Biochrom, modelo Libra S32, Cambridge, Inglaterra) a 740 nm.

Uma curva de ácido gálico (0 – 500 µM) foi utilizada para calibrar o ensaio de quantificação de fenólicos totais. Os resultados dos fenólicos totais foram expressos em µg equivalente de ácido gálico (EAG) 100 g⁻¹ de amostra integral de base fresca.

2.5 Simulação Gastrointestinal *in vitro*

A simulação gastrointestinal *in vitro* (TGI) realizada nas amostras de arroz cozido, seguiu a metodologia dos pesquisadores Buriti et al. (2010) e Madureira et al. (2011), com algumas modificações.

Após a passagem por todas as etapas do TGI – oral, gástrica e entérica I e II, a quantificação de Se foi realizada de acordo com Chilimba et al. (2011). A leitura das amostras foi realizada por espectrômetro óptico de emissão com plasma acoplado indutivamente (ICP – OES) com configuração radial (Varian, Vista RL, Mulgrave, Austrália), equipamento foi empregado nebulizador V-Groove, câmara de nebulização Sturman Master, potência da rádio frequência de 1,05 kW. As vazões do gás no nebulizador, do plasma e do gás auxiliar foram 0,60 L min⁻¹, 15 L min⁻¹ e 1,50 L min⁻¹, respectivamente. O comprimento de onda a 196,026 nm para o Se. As concentrações finais de Se nas amostras foram convertidas em µg kg⁻¹ de matéria seca.

2.5.1 Simulação da etapa oral

A etapa oral foi simulada utilizando 0,5 g de amostras de arroz cozido, triturado, que foram adicionados em tubos Falcon com uma solução saliva preparada com 100 U mL⁻¹ de α-amilase (Sigma, Alemanha) e 1 mM de CaCl₂. O pH inicial

das amostras foi ajustado entre 5,6 e 6,9 (1 M de NaHCO₃). A solução salivar foi adicionada nas amostras a uma taxa de 2,5 mL min⁻¹, seguida de agitação por 1 min, a 37 °C e 200 rpm, em mesa agitadora. A etapa oral foi realizada por 2 min.

2.5.2 Simulação da etapa gástrica

Posteriormente na etapa gástrica, o pH das amostras foi ajustado entre 2,8 a 3,2 utilizando 1 N HCl. Nas amostras, foi adicionado solução gástrica (5 mL), que foi constituída por uma solução salina (NaCl 0,5%) e adicionado pepsina (*Pepsin from porcine*, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EUA), para atingir uma concentração de 3 g L⁻¹. As amostras foram incubadas a 37 °C, com agitação constante de 130 rpm, durante 120 min, em incubadora Shaker refrigerada (NT 735, Novatecnica).

2.5.3 Simulação da etapa entérica I

Na etapa seguinte, entérica I, o pH das amostras foi ajustado para 4,3 - 5,2 usando solução alcalina (150 mL de 1 N NaOH, 11,08 g de NaH₂PO₄ e água destilada até 1 L). Utilizou-se pancreatina (*Pancreatin from porcine*, Sigma-Aldrich) e bile (*Ox-bile*, Sigma-Aldrich), que foram adicionadas para atingir uma concentração de 1 g L⁻¹ e 5 g L⁻¹, respectivamente. As amostras foram incubadas novamente a 37 °C, com agitação constante de 130 rpm, durante 120 min, em incubadora Shaker refrigerada (NT 735, Novatecnica).

2.5.4 Simulação da etapa entérica II

Na última etapa, entérica II, o pH das amostras foi ajustado para 6,7 - 7,5 usando a mesma solução alcalina, da entérica I. Nesta etapa as enzimas pancreatina (1 g L⁻¹) e bile (5 g L⁻¹) foram reajustadas, e as amostras foram incubadas novamente a 37 °C, com agitação de 130 rpm, durante 120 min, em incubadora Shaker refrigerada (NT 735, Novatecnica).

Após a simulação da etapa entérica II, as amostras foram resfriadas a 4 °C em banho Maria, por 5 min e posteriormente, foram centrifugadas em centrífuga refrigerada (Hettich, modelo Rotina 380R, Tuttlingen, Alemanha) a 17900 g por 30 min a 5 °C. O sobrenadante foi armazenado em *ependorf* e mantidos em freezer a -18 °C, até o momento da realização da análise de quantificação do Se.

A concentração total de Se nos grãos crus e a concentração da acessibilidade de Se, após a análise de TGI, foram convertidos em µg em 100 g de matéria seca.

2.6 Determinação da Acessibilidade de Se

A acessibilidade do Se nas amostras, foi calculada pela razão entre a concentração do elemento extraído na fase entérica II, que representa o ambiente do trato intestinal humano, e a concentração total de Se nos grãos de arroz Eq. (1):

$$\text{Acessibilidade (\%)} = \frac{\text{Concentração da Acessibilidade de Se } \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}}{\text{Concentração Total de Se } \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}} \times 100 \quad (1)$$

2.7 Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado utilizando três variedades de arroz e 4 repetições. Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de comparação de médias Tukey a 5% de probabilidade. Todos as análises estatísticas foram realizadas no programa SISVAR (Ferreira, 2019). A análise de componentes principais (PCA) foi realizada utilizando-se o software XLSTAT versão 2021 (Addinsoft, França).

3. Resultados e Discussão

Houve diferença estatística para as variáveis analisadas, produção de grãos (g planta^{-1}); concentração de Se total ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$); fenólicos totais ($\mu\text{g EAG } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$); e porcentagem de acessibilidade de Se em grãos de arroz (Tabela 1 e 2). A produção de grãos por planta variou entre os genótipos avaliados, sendo observada maior produção nas etnovariedades (Tabela 1).

Tabela 1 - Produção g planta^{-1} de grãos de arroz e concentração de selênio em 100 g de arroz biofortificados.

Cultivar e Etnovariedades	Produção (g planta^{-1})	Concentração de Se total ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$)
Esmeralda	$18,44 \pm 0,47^b$	$2,82 \pm 0,04^c$
Agulhinha Vermelho	$26,44 \pm 1,00^a$	$3,33 \pm 0,08^a$
Branquinho	$25,92 \pm 0,40^a$	$3,10 \pm 0,13^b$
CV (%)	3,91	3,18

*As médias seguidas de uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os valores após o sinal \pm indicam o desvio padrão ($n = 4$). Fonte: Possamai et al. (2022).

A produção de grãos por planta é um importante parâmetro de avaliação, pois auxilia na tomada de decisão quanto ao material a ser cultivado. No presente estudo, observou-se que as etnovariedades do Pantanal apresentaram produção superior à cultivar melhorada, o que representa resultados bastante promissores, já que estes genótipos são mais adaptados ao cultivo na região (Tabela 1). Em trabalho conduzido por Keqin et al. (1997) a adubação com Se aumentou em até 48% o rendimento de grãos de arroz, devido ao aumento da fotossíntese das plantas.

A concentração de Se total ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$) foi influenciada pelo genótipo cultivado, sendo a menor concentração observada na cultivar Esmeralda, indicando que a biofortificação com Se pode apresentar resultados variáveis conforme o genótipo avaliado (Tabela 1). A etnovarietade Agulhinha Vermelho apresentou maior concentração de Se (Tabela 1). Normalmente, a concentração de Se em arroz é baixa (Nothstein et al., 2016), não sendo capaz de suprir a necessidade diária recomendada de 50 a 55 μg (WHO, 2009), sendo a biofortificação uma das alternativas mais eficazes para o aumento de Se nos grãos de arroz (Yin et al., 2019; Nothstein et al., 2016). Desta forma, a etnovarietade Agulhinha Vermelho pode ser um material interessante para a biofortificação, pois tem maior capacidade de acumular Se nos grãos em comparação com os outros genótipos testados.

As etnovariedades Agulhinha Vermelho e Branquinho apresentaram menor conteúdo de fenólicos totais em comparação a cultivar comercial (Tabela 2).

Tabela 2 - Fenólicos Totais (μg EAG 100 g^{-1} MS), Concentração de Se em 100 g de arroz após TGI e Acessibilidade (%) de Se, em grãos de genótipos de arroz biofortificados, após cozimento.

Cultivar e etnovariedades	Fenólicos totais (μg EAG 100 g^{-1} MS)	Concentração de Se (μg 100 g^{-1} de arroz após TGI)	Acessibilidade de Se (%)
Esmeralda	$761,6 \pm 09^a$	$2,00 \pm 0,02^a$	$71,00 \pm 1,4^a$
Agulhinha Vermelho	$672,8 \pm 16^b$	$2,10 \pm 0,02^a$	$63,25 \pm 1,25^c$
Branquinho	$679,9 \pm 30^b$	$2,07 \pm 0,09^a$	$66,75 \pm 0,57^b$
CV (%)	4,23	2,77	1,69

*As médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os valores após o sinal \pm indicam o desvio padrão ($n = 4$). Fonte: Possamai et al. (2022).

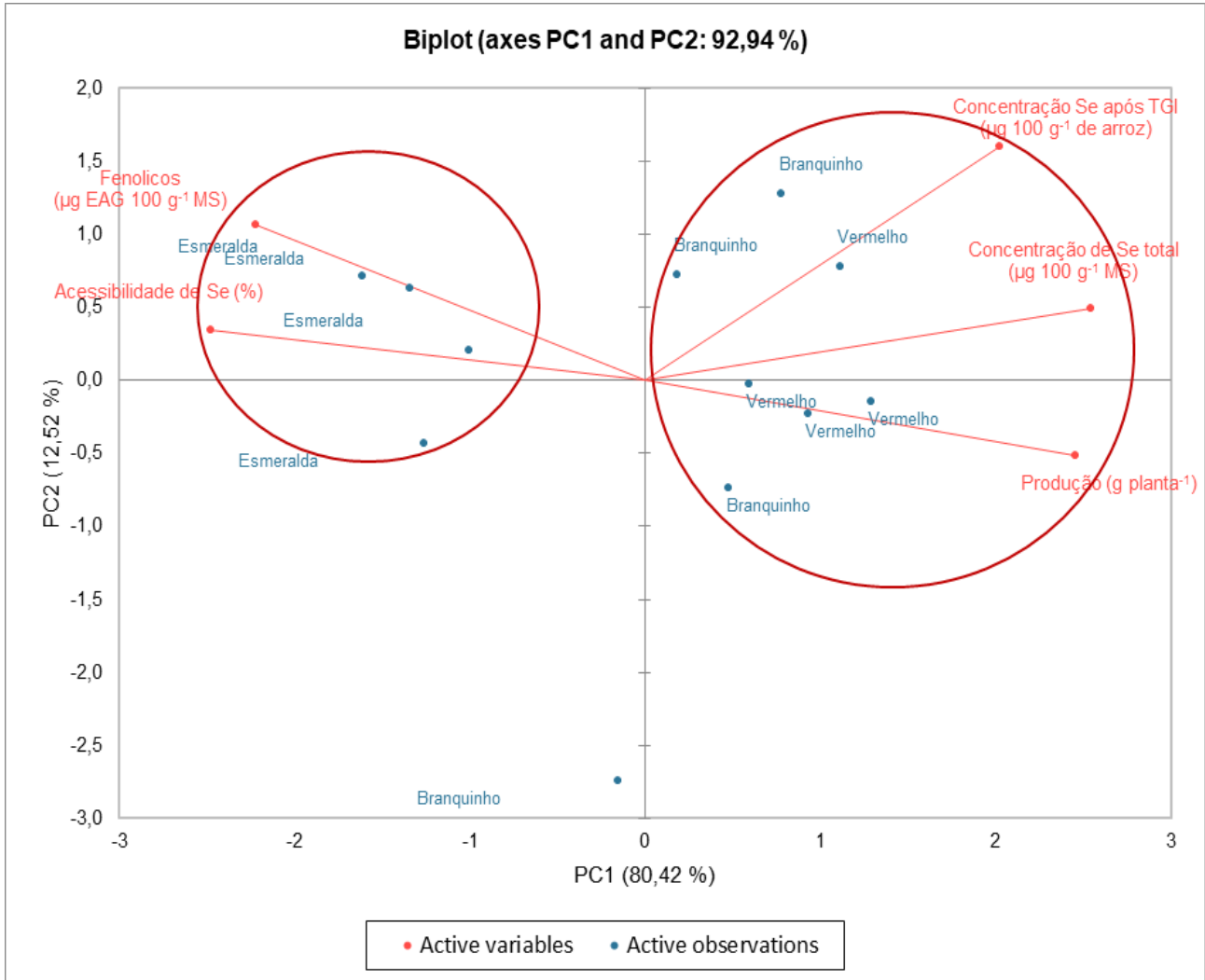
O conteúdo de fenólicos totais em arroz é de $600\text{ }\mu\text{g}$ de EAG em 100 g de arroz cru (Schmitz et al., 2021), variando principalmente em função do processamento (Verma & Srivastav, 2020). O presente estudo constatou valores de fenólicos totais acima do reportado pelos referidos autores, que podem ser atribuídos ao genótipo avaliado (Tabela 2). No entanto, é importante salientar que a concentração de fenólicos totais nas etnovariedades é um indicativo de qualidade que deve ser levado em consideração para a tomada de decisão quanto ao cultivo, pois além de serem materiais mais adaptados ao clima da região, podem auxiliar na melhoria nutricional dos consumidores.

O parâmetro concentração de Se após a TGI (Tabela 2), não foi influenciado pelo genótipo testado, porém os valores observados foram de $\pm 2,00\text{ }\mu\text{g}$, o que representa uma pequena fração do recomendado para o consumo diário de Se de $60\text{ }\mu\text{g}$ (ANVISA, 2020). Em grãos de arroz biofortificados, Gong et al. (2018) observaram um aumento significativo de Se acessível em grãos de arroz, variando de $0,5$ para $5,0\text{ mg kg}^{-1}$, conforme a resposta da cultivar avaliada.

Todos os genótipos avaliados apresentaram elevada porcentagem de acessibilidade de Se, superior a 60% (Tabela 2). A acessibilidade de Se foi afetada pelo genótipo, sendo a cultivar comercial Esmeralda mais promissora quanto a este parâmetro, proporcionando 8% a mais de acessibilidade de Se quando comparado a etnovariedade Agulhinha Vermelho (Tabela 2). A acessibilidade variou de 71; 63 e 66% para a cultivar Esmeralda e etnovariedades Agulhinha Vermelho e Branquinho, respectivamente. Valores bastante elevados, principalmente considerando a quantidade de Se utilizado na adubação das plantas. A acessibilidade pode variar conforme o genótipo estudado, ou mesmo quantidade de Se disponibilizado às plantas. Gong et al. (2018) relataram a porcentagem de acessibilidade de Se em grãos de arroz de 54,3% sem biofortificação de grãos, sendo obtido 68,1% ao utilizar $5,0\text{ mg kg}^{-1}$ de Se por kg de solo. Sendo a acessibilidade de Se atrelada também a maior quantidade do micronutriente disponibilizado durante o cultivo das plantas (Gong et al., 2018).

A análise de componentes principais (PCA) foi aplicada aos dados para melhor expressar a correlação entre os tratamentos e os resultados obtidos. A PC1 e PC2 explicaram 92,94% dos dados obtidos (Figura 1).

Figura 1 - Projeção bidimensional e pontuação (A) das características produtivas: Produção (g planta⁻¹) e concentração de selênio total ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$); e das características fenólicos totais ($\mu\text{g EAG } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$), concentração de Se após TGI ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de arroz) e porcentagem acessibilidade de Se, em grãos de genótipos de arroz biofortificados.



Fonte: Autores.

As concentrações de Se total e após TGI apresentaram os maiores escores na PC1, agrupando as variedades Branquinho e Vermelho na PC1+, enquanto Esmeralda foi agrupada na PC1-. A cultivar Esmeralda apresentou maior concentração de fenólicos totais e porcentagem de acessibilidade de Se (Figura 1), enquanto que as etnovariedades Branquinho e Agulhinha Vermelho proporcionaram maior produção de grãos (g planta⁻¹) de arroz, concentração de selênio total ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$), e concentração de Se após TGI ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de arroz) (Figura 1), demonstrando que para acessibilidade de Se e fornecimento de fenólicos totais, a cultivar comercial foi mais expressiva, sendo interessante a biofortificação para melhorar a qualidade dos grãos de arroz.

A qualidade dos grãos de arroz referente a compostos bioativos pode variar conforme o processamento, processo de cozimento, mas a biofortificação com Se pode representar uma ferramenta a mais na melhoria da qualidade (Song et al., 2018; Schmitz et al., 2021; Verma e Srivastav, 2020). No entanto, o genótipo, dose de adubação e forma de preparo precisam ser averiguados em estudos futuros.

4. Conclusão

As etnovariedades apresentaram maior produção g planta⁻¹ e concentração de Se total em relação a cultivar comercial, Esmeralda.

Todos os genótipos apresentaram acessibilidade de Se superior a 60%. Destaca-se que a cultivar comercial proporcionou maior acessibilidade de Se, o que representou até 8% superior a etnovariedade Agulhinha Vermelho, e o conteúdo de compostos fenólicos também foram expressivos, sendo mais interessante quanto a qualidade.

Referências

- Buriti, F. C. A., Castro, I. A., & Saad, S. M. I. (2010). Viability of *Lactobacillus acidophilus* in synbiotic guava mousses and its survival under in vitro simulated gastrointestinal conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 137 (2–3), 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.11.030>
- Chilimba, A. D. C., Young, S. D., Black, C. R., Rogerson, K. B., Ander, E. L., Watts, M. J., Lammel, J., & Broadley, M. R. (2011). widespread in Malawi. 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep00072>
- Delaqua, D., Carnier, R., Cadore, S., Sanches, V. L., Berton, R. S., Corbi, F. C. A., & Coscione, A. R. (2022). In vitro bioaccessibility and bioavailability of selenium in agronomic biofortified wheat. *Journal of Food Composition and Analysis*, 105 (September 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104253>
- Etcheverry, P., Grusak, M. A., & Fleige, L. E. (2012). Application of in vitro bioaccessibility and bioavailability methods for calcium, carotenoids, folate, iron, magnesium, polyphenols, zinc, and vitamins B 6, B 12, D, and E. *Frontiers in Physiology*, 3 AUG (August), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00317>
- Ferreira, D. F. (2019). SISVAR: A Computer Analysis System To Fixed Effects Split Plot Type Designs. *Revista Brasileira De Biometria*, 37 (4), 529-535. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.
- Gong, R., Ai, C., Zhang, B., & Cheng, X. (2018). Effect of selenite on organic selenium speciation and selenium bioaccessibility in rice grains of two Se-enriched rice cultivars. *Food Chemistry*, 264, 443–448. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.066>
- He, Y., & Zheng, Y. (2010). Assessment of in vivo bioaccessibility of arsenic in dietary rice by a mass balance approach. *Science of the Total Environment*, 408(6), 1430–1436. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.12.043>
- Jayawardena, R., Sooriyaarachchi, P., Chourdakis, M., Jeewandara, C., & Ranasinghe, P. (2020). Enhancing immunity in viral infections, with special emphasis on COVID-19: A review. *Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews*, 14 (4), 367–382. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.04.015>
- Keqin, P., Yahui, H., & Wei, X. (1997). Effect of selenium on the photosynthesis and yield of early rice *Oryza sativa* L. *Journal of Hunan Agricultural University*, 23 (5), 432-434.
- Lessa, J. H. L., Araújo, A. M., Ferreira, L. A., da Silva Júnior, E. C., de Oliveira, C., Corguinha, A. P. B., Martins, F. A. D., de Carvalho, H. W. P., Guilherme, L. R. G., & Lopes, G. (2019). Agronomic biofortification of rice (*Oryza sativa* L.) with selenium and its effect on element distributions in biofortified grains. *Plant and Soil*, 444 (1–2), 331–342. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04275-8>
- Madureira, A. R., Amorim, M., Gomes, A. M., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2011). Protective effect of whey cheese matrix on probiotic strains exposed to simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International*, 44 (1), 465–470. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.010>
- Nothstein, A. K., Eiche, E., Riemann, M., Nick, P., Winkel, L. H. E., Göttlicher, J., Steininger, R., Brendel, R., Brasch, M. V., Konrad, G., & Neumann, T. (2016). Tracking Se Assimilation and Speciation through the Rice Plant – Nutrient Competition, Toxicity and Distribution. *PLoS ONE*, 11(4), 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152081>
- Paraginski, R. T., Ziegler, V., Talhamento, A., Elias, M. C., & Oliveira, M. de. (2014). Propriedades tecnológicas e de cocção em grãos de arroz condicionados em diferentes temperaturas antes da parboilização. *Brazilian Journal of Food Technology*, 17(2), 146–153. <https://doi.org/10.1590/bjft.2014.021>
- Peixoto, R. R. A., Mazomb, E. A. M., & Cadore, S. (2013). Estimation of the Bioaccessibility of Metallic Elements in Chocolate Drink Powder using an in vitro Digestion Method and Spectrometric Techniques. *Rafaella*. 24(10), 3–5.
- Pereira, C. C., do Nascimento da Silva, E., de Souza, A. O., Vieira, M. A., Ribeiro, A. S., & Cadore, S. (2018). Evaluation of the bioaccessibility of minerals from blackberries, raspberries, blueberries and strawberries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 68, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.12.001>.
- Pereira, M. P., & Tavano, O. L. (2014). Use of Different Spices as Potential Natural Antioxidant Additives on Cooked Beans (*Phaseolus vulgaris*). Increase of DPPH Radical Scavenging Activity and Total Phenolic Content. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(4), 337–343. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0439-4>
- Possamai, A.C.S., Lobo, F.A., Previl, R., Blanger, B.R., Pereira, R.S., Costa, M.P.C. (2022). Biofortificação Agrônômica em Variedades de Arroz do Pantanal Mato-Grossense. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, (no prelo).
- Schmitz, F.R.W., Samaniego-Sã, C., Tedeschi, P., Maietti, A., Shariati, M.A., Hleba, L., De Souza, C.K. (2021). Fatty acid profile and antioxidant capacity of *Oryza sativa* L. (Japônica subspecies) marketed in Italy and Brazil: a comparison. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 11(1), 4842-4842. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.4842>

Song, T., Su, X., He, J., Liang, Y., Zhou, T., & Liu, C. (2018). Selenium (Se) uptake and dynamic changes of Se content in soil–plant systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(34), 34343–34350. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3373-4>

USDA. (2021). Report Name: Grain and Feed Update; Country: Bangladesh. USDA, Report Number: BG2021-0004, 21(December 2020), 0–3.

WHO. (2009). *Global Health Risks*.

Woisky R. G., Salatino A. (1998). Analysis os propolis: some parameters ond prodecore for chemical fuality control. *Journal of Apicultural Research*, 37(2), 99-105.

Verma, D.K., Srivastav, P.P. (2020). Bioactive compounds of rice (*Oryza sativa* L.): Review on paradigm and its potential benefit in human health. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 355-365. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.007>

Yan, J., Chen, X., Zhu, T., Zhang, Z., & Fan, J. (2021). Effects of selenium fertilizer application on yield and selenium accumulation characteristics of different Japonica rice varieties. *Sustainability (Switzerland)*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/su131810284>

Yin, H., Qi, Z., Li, M., Ahammed, G.J., Chu, X., Zhou, J. (2019) Selenium forms and methods of application differentially modulate plant growth, photosynthesis, stress tolerance, selenium content and speciation in *Oryza sativa* L. *Ecotoxicology and environmental safety*, 169, 911-917. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.080>