



AVANÇOS CIENTÍFICOS À BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DE ZINCO SOBRE A PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE GRÃOS DE AVEIA¹

Lara Laís Schünemann², Larissa Bortolini Pomarenke³, Pedro Diel⁴, Taís Portela Arenhart⁵,
Cristhian Milbradt Babeski⁶, Cibele Luisa Peter⁷, Juliana Aozane da Rosa⁸, José Antonio
Gonzalez da Silva⁹

¹ Pesquisa desenvolvida na Unijuí; financiado pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PIBIC/CNPq.

² Bolsista CNPq; estudante do curso Agronomia da UNIJUÍ.

³ Bolsista CNPq; estudante do curso Agronomia da UNIJUÍ.

⁴ Eng. Prod.º, Mestrando no PPGSAS, UNIJUÍ.

⁵ Matemática, Doutoranda no PPGMMC, UNIJUÍ.

⁶ Eng. Agr.º, Mestrando no PPGSAS, UNIJUÍ.

⁷ Matemática, Doutoranda no PPGMMC, UNIJUÍ.

⁸ Física, Doutoranda no PPGMMC, UNIJUÍ.

⁹ Professor orientador da UNIJUÍ.

INTRODUÇÃO

A busca por uma alimentação balanceada, que forneça os nutrientes necessários, é essencial para atender às necessidades humanas, e entre esses nutrientes, destaca-se o zinco. O zinco é vital para as atividades enzimáticas, a síntese de proteínas, possui propriedades antioxidantes e é essencial para enzimas relacionadas ao sistema nervoso, contribuindo para o processo de aprendizagem (ZHANG et al., 2022). Nos países em desenvolvimento, a deficiência de zinco na população tem se tornado uma preocupação devido à dificuldade de acesso a alimentos ricos nesses nutrientes, como carne vermelha e peixes (DUAN et al., 2023).

Para reduzir a carência de zinco, é necessário adotar medidas que aumentem os teores desse elemento nos produtos agrícolas. Uma dessas medidas é a biofortificação agronômica, uma técnica de manejo agrícola que pode aumentar o conteúdo de minerais e vitaminas. Essa abordagem oferece uma maneira sustentável e de baixo custo para fornecer à população acesso a alimentos mais nutritivos e saudáveis (GUPTA et al., 2016).

A tecnologia de biofortificação agronômica para aumentar o teor de zinco em um alimento de alto valor biológico, como a aveia, tem o potencial de melhorar significativamente os benefícios para a saúde humana. Uma realidade alinhada aos interesses de diversos países que buscam garantir qualidade dos produtos alimentícios e a segurança nutricional da população. O objetivo deste estudo é validar a tecnologia de biofortificação agronômica de zinco via pulverização foliar e seus efeitos sobre os indicadores de produtividade, qualidade industrial e química dos grãos de aveia.



METODOLOGIA

O estudo foi conduzido no ano de 2023, no município de Augusto Pestana, RS, Brasil. A semeadura foi realizada na primeira quinzena de junho com semeadora-adubadora, em unidades experimentais de 5 m² e com uso de 400 sementes viáveis m⁻². O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições em cinco níveis do composto ZnSO₄·5H₂O (0, 500, 1000, 2000 e 4000 g ha⁻¹), aplicado na fase de início do enchimento de grãos da aveia. Foi utilizado pulverizador costal de 20 litros à pressão constante de 30 lb pol⁻², com pontas de jato tipo cone. O volume dimensionado de água foi considerando a aplicação de 500 litros ha⁻¹. Foi condicionado o tempo de 21 segundos neste volume e pressão de trabalho.

Na colheita de grãos foi realizado o corte de três linhas centrais de cada unidade experimental, após foram trilhadas e direcionadas para correção da umidade de grãos para 13%, para estimativa da produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), pesadas em balança de precisão. Posteriormente foram avaliados os indicadores de interesse industrial, onde foram analisados: massa de mil grãos (MMG, g), pela contagem de 250 grãos e pesagem em balança de precisão, posteriormente, multiplicado por quatro; massa do hectolitro (MH, kg hl⁻¹) obtida pela massa de grãos oriundo de um cubo de volume conhecido de 250 cm³, e convertido para kg hl⁻¹; número de grãos maiores que dois milímetros (NG>2mm, n) determinado pela contagem de cem grãos, colocados em uma peneira de malha de 2mm e contados os que ficam acima desta dimensão; massa de grãos maiores que 2 mm (MG, n), determinada através da pesagem em balança de precisão de 50 grãos com dimensão maior que 2 mm; massa de cariopse maior que 2 mm (MC, n), obtida através da pesagem em balança de precisão de 50 grãos maiores que 2 mm sem casca; índice de descasque (ID, g g⁻¹) definido pela razão entre a massa da cariopse de 50 grãos maiores que 2 mm e sua massa de grãos; produtividade industrial (RI, kg ha⁻¹) obtida pelo produto da produtividade de grãos com o número de grãos maiores que 2 mm e o índice de descasque (PI= PG x NG>2mm x ID). Os indicadores de qualidade química de grãos foram avaliados, os teores de proteína total (PT, g kg⁻¹), fibra total (FT, g kg⁻¹), amido (AM, g kg⁻¹) fibra em detergente neutro (FDN, g kg⁻¹), obtidos por amostras dos grãos com o aparelho espectrômetro NIR (do inglês - Near infrared Reflectance), por meio da espectrofotometria do infravermelho proximal. As concentrações de ferro no grão (FeG, mg kg⁻¹), ferro na cariopse, (FeC, mg kg⁻¹), Zinco no grão (ZnG, mg kg⁻¹), Zinco na cariopse, (ZnC, mg kg⁻¹) foram obtidas a partir de amostras 20 gramas de grãos com casca e sem casca (cariopse), pesados em balança



de precisão. Após as amostras serem direcionadas ao forno, com temperatura entre 70 e 80 °C, para secagem e correção da variação de peso, elas foram moídas no moinho por cerca de 90 segundos. Após a moagem, as amostras foram peneiradas, com a peneira de malha 270, com tamanho de 53 micron, resultando numa massa de 5 a 6 gramas. As amostras foram devidamente identificadas e enviadas para análise da concentração de zinco e ferro em grãos e cariopses de aveia. Os procedimentos e materiais utilizados foram baseados em Tedesco et al. (1995). Foram realizadas análises de variância, comparações de médias e regressões polinomiais para estimar o comportamento e possivelmente definir a dose ideal de biofortificação. Também, análise de contribuição relativa e de correlação das doses de biofortificação por zinco sobre as variáveis de produtividade de grãos, todas realizadas com o auxílio do software GENES (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, do resumo de análise de variância, a produtividade de grãos e os demais indicadores de interesse industrial não foram afetadas pelas doses de biofortificação do composto zinco, mostrando que a biofortificação não altera o número de grãos maiores que 2mm e índice de descasque, componentes que definem o rendimento industrial.

Tabela 1. Resumo de análise de variância da produtividade de grãos e de indicadores da qualidade industrial pelas doses de biofortificação por sulfato de zinco.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		PG (kg ha ⁻¹)	MMG (g)	MH (kg hl ⁻¹)	NG>2mm (n°)	ID (kg kg ⁻¹)	RI (kg ha ⁻¹)
Bloco	3	492779	38,9	88,6	167	0,027	278158
Fonte (F)	2	32952	14,3	25,3	320	0,013	37119
Dose (D)	4	22861	8,8	25,3	49	0,013	4983
F x D	8	49996	20,10	25,3	22,4	0,014	36374
Erro	42	92323	19,14	25,3	120	0,010	31837
Total	59	-	-	-	-	-	-
Média geral	-	1493	29	39	76	0,74	882
CV (%)	-	20	14	12	14	13	20

CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade; PG – Produtividade de grãos; MMG – Massa de mil grãos; MH – Massa do hectolitro; NG>2MM – Número de grãos maior que 2mm, ID – Índice de descasque; RI – Rendimento industrial.

Conforme a Tabela 2, as doses de zinco não alteraram os componentes da composição orgânica dos grãos, indicando que a biofortificação não compromete variáveis de interesse na alimentação. Porém, as concentrações do composto com zinco modificaram o conteúdo de zinco em grãos e cariopses de aveia e influenciaram no conteúdo de ferro.



Tabela 2. Resumo da análise de variância do conteúdo orgânico e de zinco e ferro em grãos e cariopses de aveia pelas doses de biofortificação de sulfato de zinco.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio							
		PT (g kg ⁻¹)	FT (g kg ⁻¹)	FDN (g kg ⁻¹)	AM (g kg ⁻¹)	ZnG (mg kg ⁻¹)	ZnC (mg kg ⁻¹)	FeG (mg kg ⁻¹)	FeC (mg kg ⁻¹)
Bloco	3	247	306	2177	3031	35	45	911	55
Fonte (F)	2	443	210	1351	3078	292*	76*	35427*	13780*
Dose (D)	4	190	311	2356	2943	54*	114*	35427*	1220*
F x D	8	242	289	1827	3932	71*	104*	17476*	1463*
Erro	42	233	309	2414	3462	15	20	661	73
Total	59	-	-	-	-	-	-	-	-
Média geral	-	108	129	344	443	33	35	98	46
CV (%)	-	14	13	14	13	11	12	26	18

CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade; PT – Proteína total; FT – Fibra total; FDN – Fibra em detergente neutro; AM = Amido; ZnG – Zinco no grão de aveia; ZnC – Zinco na cariopse; FeG – Ferro no grão de aveia; FeC – Ferro na cariopse; * Significância a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott & Knott.

Observa-se na Figura 1 que as doses de sulfato de zinco também não promoveram alterações sobre o conteúdo de zinco nos grãos de aveia (Figura 1.A), entretanto, com aumento da concentração de nutriente sobre a cariopse (Figura 1.B). A concentração de zinco na cariopse confirma um comportamento linear com a biofortificação (Figura 1.B).

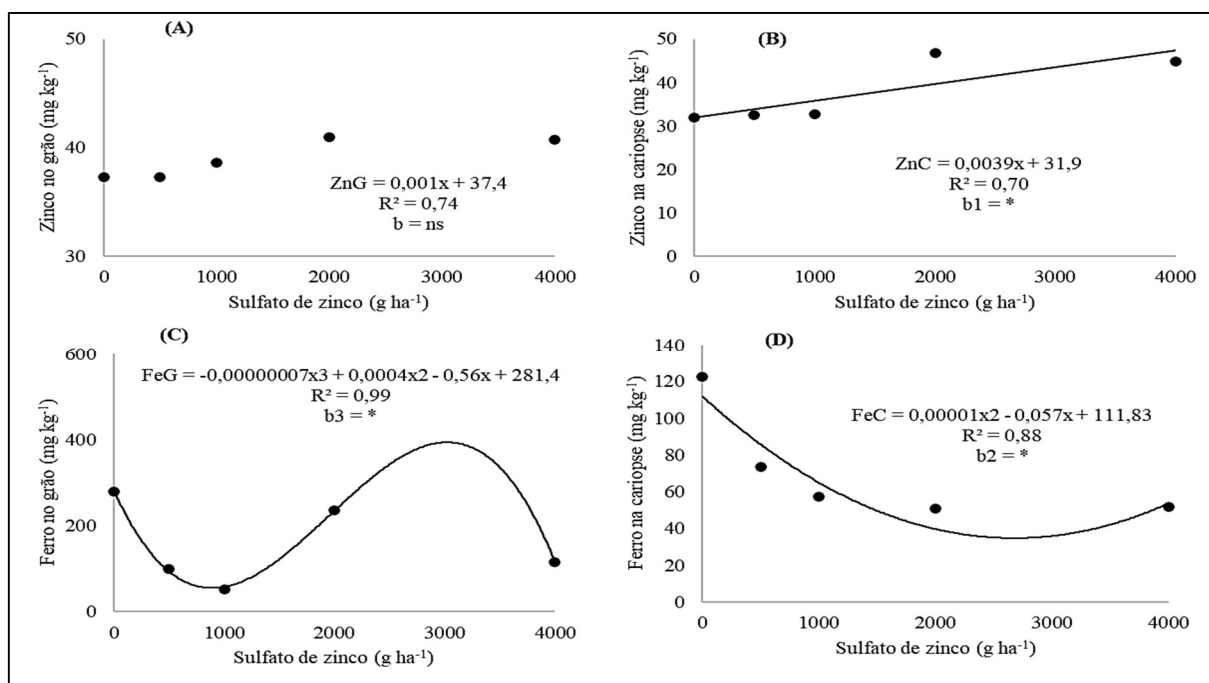


Figura 1. Regressão da concentração de zinco e ferro em grãos e cariopses de aveia em função das doses de sulfato de zinco.

Os pontos reais da concentração de zinco nos pontos 2000 e 4000 g ha⁻¹ do composto na linha da regressão, mostram similaridade de expressão do nutriente na cariopse (Figura 1.B).



Sendo assim, entende-se que a dose de 2000 g ha⁻¹ de sulfato de zinco se mostra mais viável. E quando aplicado o sulfato de zinco provocou redução do conteúdo de ferro em determinadas doses do composto nos grãos e cariopses de aveia. Essa condição demonstra um comportamento de grau cúbico sobre a expressão de ferro, gerando redução principalmente na dose de 1000 g ha⁻¹ do composto (Figura 1.C). Além disso, com redução de ferro na cariopse chegando a estabilidade nos pontos de 2000 e 4000 g ha⁻¹, configurando um comportamento quadrático (Figura 1.D). Com o uso da dose de recomendação de sulfato de zinco, há redução de ferro e de 281,4 para 201,4 mg kg⁻¹ nos grãos e de 111,8 para 37,8 mg kg⁻¹ na cariopse de aveia. Estes resultados mostram que o uso da biofortificação com sulfato de zinco deve envolver o maior ou menor interesse do conteúdo de ferro na matéria prima direcionada à alimentação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biofortificação agrônômica de zinco aplicada via foliar no enchimento de grãos, não interfere nos indicadores de produtividade, qualidade industrial e química orgânica dos grãos de aveia. A biofortificação foliar de zinco como fonte sulfato embora promova redução de ferro nos grãos, promove aumento significativo no conteúdo de zinco na cariopse, oportunizando agregar benefícios deste nutriente com os demais compostos já existentes nos grãos de aveia.

Palavras-chave: *Avena sativa* L. Produtividade. Qualidade. Sustentabilidade. Agenda 2030.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*. v.35, n.3, p.271-276, 2013.
- DUAN, M; LI, T. et al. Zinc nutrition and dietary zinc supplements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.63, n.9, p.1277-1292, 2023.
- GUPTA, N.; RAM, H.; KUMAR, B. Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v.15, n.1, p.89-109, 2016.
- ZOU, C.; DU, Y.; RASHID, A.; RAM, H.; SAVASLI, E.; PIETERSE, P. J.; ORTIZMONASTERIO, I.; YAZICI, A.; KAUR, C.; MAHMOOD, K.; SINGH, S.; LE ROUX, M. R.; KUANG, W.; ONDER, W.; KAKAYCI, M.; CAKMAK, I. Simultaneous biofortification of wheat with zinc, iodine, selenium, and iron through foliar treatment of a micronutrient cocktail in six countries. *Journal of agricultural and food chemistry*, v.67, n.29, p.8096-8106, 2019.
- ZHANG, L. et al. Association between serum copper/zinc ratio and lung cancer: A systematic review with meta-analysis. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, v.74, P.127061, 2022.