



BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA DA CARIOPSE DA AVEIA E OS REFLEXOS SOBRE OS INDICADORES DE PRODUTIVIDADE E QUALIDADE INDUSTRIAL¹

Cristhian Milbradt Babeski², Adriana Roselia Kraisig³, Cibele Luisa Peter⁴, Juliana Aozane Da Rosa⁵, Pedro Diel⁶, José Antonio Gonzalez Da Silva⁷

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido na UNIJUÍ;

² Bolsista PROSUC/CAPES, mestrando em Sistemas Ambientais e Sustentabilidade, PPGSAS, UNIJUÍ;

³ Doutora em Modelagem Matemática e Computacional, PPGMMC, UNIJUÍ;

⁴ Doutoranda em Modelagem Matemática e Computacional, PPGMMC, UNIJUÍ;

⁵ Doutoranda em Modelagem Matemática e Computacional, PPGMMC, UNIJUÍ;

⁶ Mestrando em Sistemas Ambientais e Sustentabilidade, PPGSAS, UNIJUÍ;

⁷ Professor do curso de Agronomia, PPGSAS, PPGMMC, UNIJUÍ.

INTRODUÇÃO

Os alimentos são considerados a fonte primária de nutrientes na alimentação humana (BREZOLIN et al., 2016). A falta de zinco e ferro em muitos alimentos pode ocasionar várias disfunções imunológicas e redução das defesas do organismo gerando doenças, o que acarreta mais gastos com saúde pública (KUMARI et al., 2022).

Para reduzir a carência de ferro e zinco na alimentação são necessárias medidas capazes de ocasionarem o aumento dos teores desses elementos (KUMARI et al., 2022). A biofortificação agrônômica é uma técnica onde são desenvolvidos manejos para incrementar minerais as partes comestíveis das plantas e fornecer a população o enriquecimento dessas estruturas, e com custos menores (KRISHNA, MAHARAJAN & ANTONY CEASAR 2023).

Entre as culturas agrícolas a aveia tem recebido grande atenção devido as suas características nutracêuticas, e destaca-se o alto conteúdo de proteína e fibras e a capacidade de redução do colesterol LDL pela fibra solúvel Beta glucana (SCREMIN et al., 2017). A tecnologia de biofortificação por zinco num alimento de alto valor biológico como a aveia pode aumentar a qualidade nutricional e trazer benefícios a saúde humana. O objetivo do estudo é desenvolver e validar a tecnologia de biofortificação de zinco via aplicação foliar na aveia e os reflexos sobre indicadores da produtividade, qualidade industrial, e teor de zinco na cariopse.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em 2019, 2020 e 2021, em Augusto Pestana, RS, Brasil. As semeaduras foram na primeira quinzena de junho. Com parcelas de 5 linhas de 5 m de

comprimento e espaçamento de 0,20 m, totalizando uma unidade experimental de 5 m² com 400 sementes m² de densidade populacional.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com três 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. Na aplicação foi utilizado pulverizador costal de 20 litros à pressão constante de 30 lb pol⁻², com pontas de jato tipo cone com volume dimensionado de água para a aplicação de 500 litros ha⁻¹.

Foram coletadas dez panículas de cada parcela para análise dos indicadores da inflorescência, que foram: comprimento da panícula (CP, cm), mensurado com régua excluindo as aristas; número de espiguetas por panícula (NEP, n) e número de grãos por panícula (NGP, n), mensurado por contagem; massa de panícula (MP, g), obtido pela pesagem; massa de grãos da panícula (MGP, g), grãos trilhados da panícula e pesados em balança de precisão; índice de colheita da panícula (ICP, g g⁻¹), obtido pela razão da massa de grãos da panícula pela massa da panícula (ICP = MGP/MP). Foi realizada colheita de três linhas centrais de cada parcela para produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), pesadas em balança de precisão. Foram avaliados os indicadores de interesse industrial, onde foram analisados: massa de mil grãos (MMG, g), pela contagem de 250 grãos e pesagem, posteriormente, multiplicado por quatro; massa do hectolitro (MH, kg hl⁻¹) obtida pela massa de grãos em cubo de volume de 250 cm³, e convertido para kg hl⁻¹; número de grãos maiores que dois milímetros (NG>2mm, n), foram colocados cem grãos em peneira de malha de 2mm e contados os que ficam acima desta dimensão; massa de grãos maiores que 2 mm (MG, n), pesagem de 50 grãos com dimensão maior que 2 mm; massa de cariopse maior que 2 mm (MC, n), obtida da pesagem de 50 grãos maiores que 2 mm sem casca; índice de descasque (ID, g g⁻¹) determinado pela razão entre a MC/MG; produtividade industrial (PI, 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).

Para concentração de zinco foram pesados 20 gramas de grãos sem casca e colocadas em forno com temperatura entre 70 e 80 °C, para correção de variação de peso; cada amostra foi moída por cerca de 90 segundos. Após, foram peneiradas, com a peneira de malha 270, com tamanho de 53 microns, resultando numa massa de 5 a 6 gramas. As amostras foram submetidas a análise via espectrometria de absorção atômica para análise da concentração de zinco. Foram

realizadas análise de variância, teste de médias e regressão polinomial na definição da dose ótima. Estas análises foram realizadas com o auxílio do software GENES.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, os indicadores de produtividade não apresentaram diferenças pelas doses do composto de zinco nos anos de 2019 e 2021. Em 2020, diferenças foram obtidas pelas doses do composto com zinco sobre número de grãos e massa da panícula e massa de grãos da panícula, diferenciando na dose padrão de 4000 g ha⁻¹. As variáveis de maior contribuição de alteração foram o número de grãos da panícula, massa da panícula e massa de grãos da panícula. Porém, estas diferenças não foram suficientes em alterar a produtividade final de grãos.

Tabela 1. Valores médios, de contribuição relativa e de correlação das doses do composto com zinco sobre indicadores da produtividade de grãos.

Dose Zn (g ha ⁻¹)	Indicadores da Produtividade (y)						
	CP (cm)	NEP (n)	NGP (n)	MP (g)	MGP (g)	ICP (g g ⁻¹)	PG (kg ha ⁻¹)
2019 (AD)							
0	19,57 a	31,07 a	59,80 a	1,84 a	1,60 a	0,87 a	1460 a
500	19,57 a	32,47 a	62,53 a	1,95 a	1,69 a	0,87 a	1353 a
1000	21,10 a	34,67 a	65,47 a	1,89 a	1,55 a	0,82 a	1408 a
2000	20,83 a	32,67 a	63,40 a	1,92 a	1,63 a	0,85 a	1268 a
4000	20,43 a	32,40 a	62,47 a	1,85 a	1,55 a	0,84 a	1203 a
r _(dose x y)	0,41	0,06	0,1	-0,07	0,14	-0,23	-0,36
CR (%)	9,3	6,08	0,18	13,14	37,57	33,7	0,03
2020 (AI)							
0	19,80 a	26,93 a	53,93 b	1,98 b	1,70 b	0,85 a	2440 a
500	20,36 a	29,20 a	59,93 ab	2,13 ab	1,83 ab	0,85 a	2329 a
1000	20,36 a	32,53 a	68,06 ab	2,48 ab	2,20 ab	0,88 a	2670 a
2000	19,76 a	32,20 a	64,80 ab	2,31 ab	2,01 ab	0,87 a	2384 a
4000	20,66 a	33,66 a	70,93 a	2,65 a	2,31 a	0,87 a	2488 a
r _(dose x y)	0,22	0,4	0,43	0,49*	0,49*	0,29	0,05
CR (%)	0,71	8,95	27,52	41,03	11,42	8,79	1,58
2021 (AI)							
0	20,20 a	30,73 a	60,00 a	1,86 a	1,68 a	0,92 a	1898 a
500	19,33 a	29,00 a	60,53 a	2,06 a	1,78 a	0,87 a	2304 a
1000	21,13 a	35,20 a	69,87 a	2,18 a	1,90 a	0,87 a	2126 a
2000	19,47 a	32,93 a	66,40 a	2,14 a	1,90 a	0,87 a	1994 a
4000	20,32 a	35,87 a	73,89 a	2,29 a	2,02 a	0,88 a	1778 a
r _(dose x y)	0,03	0,36	0,4	0,29	0,3	0,07	-0,28
CR (%)	37,06	3,32	13,4	17,02	29,12	0,07	0,01

r – Correlação de Pearson; CR – Contribuição relativa (Mahalanobis); Agrupamento - Agrupamento por Tocher; Dose Zn – Dose de biofortificação por sulfato de zinco (g ha⁻¹); CP – Comprimento da panícula; NEP – Número de espiguetas panícula; NGP – Número de grãos panícula; MP – Massa da panícula; MGP – Massa de grãos panícula; ICP – Índice de colheita panícula; PG – Produtividade de grãos; AI - Ano intermediário ao cultivo; AD - Ano desfavorável ao cultivo; ns, * - Não significativo, significativo a p ≤ 0.05 pelo teste F; Em cada dose, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Fischer em nível de 0,05 de probabilidade de erro.

Na tabela 2, se observa que a biofortificação não alterou variáveis importantes da qualidade industrial de grãos de aveia, independente do ano. Os resultados também mostram ausência de relação entre as doses do composto com zinco entre as variáveis mensuradas. Portanto, a biofortificação por zinco não interfere na qualidade industrial da aveia.

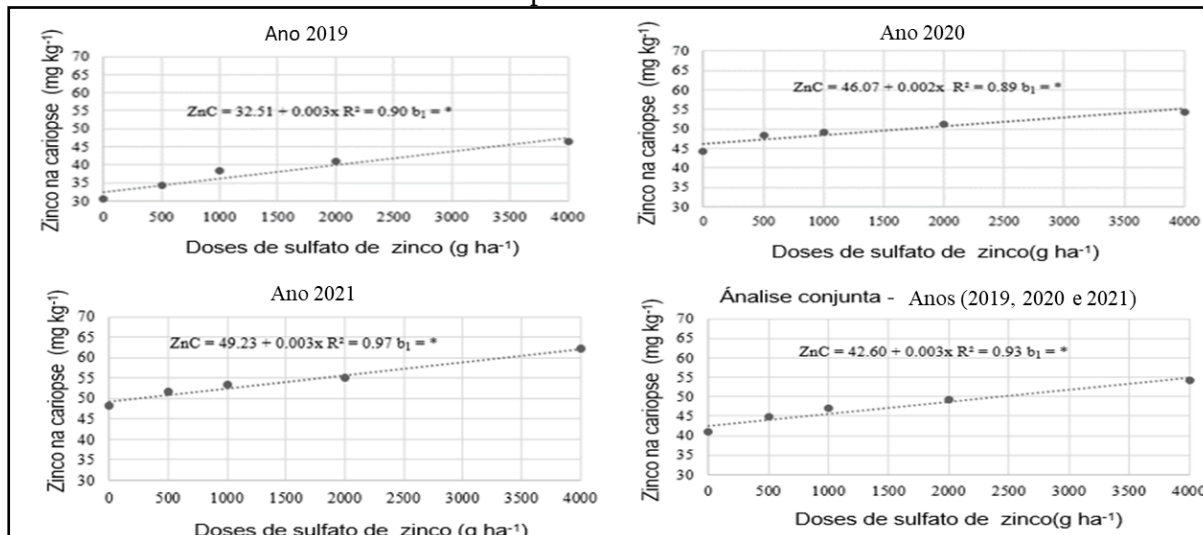
Tabela 2. Valores médios, de contribuição relativa e de correlação das doses do composto com zinco sobre indicadores da qualidade industrial.

Dose Zn (g ha ⁻¹)	Indicadores da Qualidade Industrial (y)						
	MMG (g)	MH (kg hl ⁻¹)	NG > 2mm (n)	MG (g)	MC (g)	ID (g g ⁻¹)	PI (kg ha ⁻¹)
2019 (AD)							
0	24,49 a	40,14 a	58,75 a	1,25 a	0,77 a	0,61 a	512 a
500	22,89 a	40,00 a	55,75 a	1,25 a	0,80 a	0,64 a	480 a
1000	22,13 a	40,01 a	54,75 a	1,21 a	0,72 a	0,65 a	503 a
2000	21,79 a	39,90 a	51,75 a	1,17 a	0,79 a	0,67 a	447 a
4000	22,96 a	40,01 a	59,25 a	1,15 a	0,81 a	0,70 a	498 a
r _(dose x y)	-0,25	-0,03	0,08	-0,28	0,11	0,39	-0,04
CR (%)	33,26	0,76	25,64	1,43	24,82	10,89	3,2
2020 (AI)							
0	32,45 a	47,92 a	61,75 a	1,92 a	1,36 a	0,71 a	1061 a
500	33,17 a	46,77 a	62,00 a	1,99 a	1,59 a	0,80 a	1167 a
1000	32,00 a	48,48 a	65,75 a	1,90 a	1,46 a	0,76 a	1323 a
2000	32,31 a	47,63 a	68,75 a	1,89 a	1,40 a	0,74 a	1219 a
4000	31,55 a	47,05 a	63,25 a	1,92 a	1,42 a	0,72 a	1134 a
r _(dose x y)	-0,37	-0,12	0,1	-0,08	-0,1	-0,15	0,02
CR (%)	22,33	0,14	3,57	8,93	20,23	9,39	35,41
2021 (AI)							
0	24,19 a	42,38 a	52,25 a	1,37 a	1,02 a	0,74 a	742 a
500	26,84 a	41,95 a	58,25 a	1,53 a	1,08 a	0,70 a	935 a
1000	22,20 a	39,80 a	56,25 a	1,40 a	0,99 a	0,70 a	846 a
2000	22,36 a	40,32 a	56,00 a	1,41 a	1,05 a	0,75 a	854 a
4000	23,57 a	41,75 a	59,75 a	1,37 a	0,99 a	0,72 a	767 a
r _(dose x y)	-0,25	-0,04	0,31	-0,13	-0,1	0,01	-0,08
CR (%)	0,46	0,47	0,55	49,69	37,7	7,8	3,33

r – Correlação de Pearson; CR – Contribuição relativa (Mahalanobis); Agrupamento - Agrupamento por Tocher; Dose Zn – Dose de biofortificação por sulfato de zinco (g ha⁻¹); MMG – Massa de mil grãos; MH – Massa do hectolitro; NG > 2 mm – Número de grãos maior que 2 mm; MG – Massa de grãos; MC – Massa da cariopse; ID – Índice de descasque; PI – Produtividade industrial; AI - Ano intermediário ao cultivo; AD - Ano desfavorável ao cultivo; ns, * - Não significativo, significativo a $p \leq 0.05$ pelo teste F; Em cada dose, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Fischer em nível de 0,05 de probabilidade de erro

Na figura 1, se observa elevação de zinco com significância do coeficiente angular da regressão, confirmando que a aplicação via foliar do composto com zinco é efetivo no incremento do nutriente na cariopse de aveia.

Figura 1. Valores médios, de contribuição relativa e de correlação das doses do composto com zinco sobre o conteúdo de zinco na cariopse de aveia.



ZnC – Zinco na cariopse; R^2 – Coeficiente de determinação; b_1 – Significância do parâmetro angular da equação de regressão em 0,05 de probabilidade de erro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os indicadores de produtividade e qualidade industrial da aveia não são afetados pela tecnologia de biofortificação com zinco. A biofortificação via foliar pelo composto com zinco promove aumento significativo de zinco em cariopses de aveia, validando esta tecnologia como recurso de promoção da qualidade nutricional da aveia.

Palavras-chave: *Avena sativa*. Saúde. Modelagem. Fome zero. Agenda 2030.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BREZOLIN, A. P., SILV, J.A G., FRANTZ, F. C. R., BINELO, M. O., VALDIERO, A. C., ZIMMER, C. M., MANTAI, R. D., MAROLLI, A., SCREMIN, O. B. & MAZURKIEVICZ, G. The efficiency of wheat yields by nitrogen dose and fractionation. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, p.3440-3449, 2016.
- KRISHNA, T. P. A; MAHARAJAN, T; & ANTONY CEASAR, S. Significance and genetic control of membrane transporters to improve phytoremediation and biofortification processes. **Molecular Biology Reports**, p.1-11, 2023.
- KUMARI, A; & CHAUHAN, A. K. Iron nanoparticles as a promising compound for food fortification in iron deficiency anemia: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v.59, n.9, p.3319-3335, 2022.
- SCREMIN, O. B; SILVA, J. A. G; MAMMANN, A. T. W; MAROLLI, A; MANTAI, R. D; TRAUTMANN, A. P. B; KRAISIG, A. R; SCREMIN, A. H; & DORNELLES, E. F. Nitrogen and hydrogel combination in oat grains productivity. **International Journal of Development Research**, v.7, n.7, p.13896-13903, 2017.