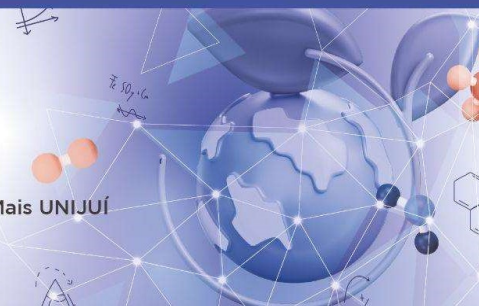




## **A BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA VIA FOLIAR NA AVEIA E OS EFEITOS SOBRE INDICADORES DA PRODUTIVIDADE E CONCENTRAÇÃO DE ZINCO E FERRO NOS GRÃOS <sup>1</sup>**

**Lara Laís Schünemann <sup>2</sup>, Júlia Sarturi Jung <sup>3</sup>, Larissa Bortilini Pomarenke <sup>4</sup>, Maria Eduarda Padilha Steidl <sup>5</sup>, Adriana Rosélia Kraisig <sup>6</sup>, José Antônio Gonzalez Da Silva <sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa desenvolvido na UNIJUÍ;

<sup>2</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ, Bolsista PIBIC/CNPq;

<sup>3</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ, Bolsista PIBIT/CNPq;

<sup>4</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ, Bolsista PROFAP;

<sup>5</sup> Estudante do curso de Agronomia da UNIJUÍ, Bolsista PROBIC/PROFAP;

<sup>6</sup> Doutora em Modelagem Matemática, PPGMM, UNIJUÍ;

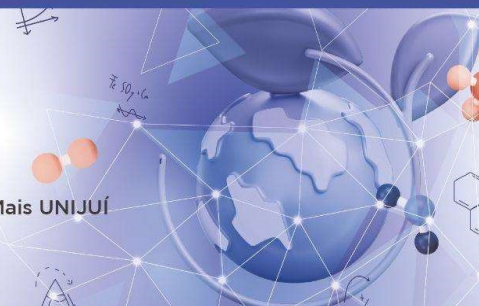
<sup>7</sup> Professor do curso de Agronomia, PPGSAS, PPGMMC, UNIJUÍ.

### **INTRODUÇÃO**

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é um cereal de múltiplos propósitos que tem se destacado como alimento de alta qualidade nutricional e funcional à saúde humana (SILVA et al., 2015). A deficiência nutricional, atinge quase metade da população mundial, sendo a carência de zinco e ferro um dos principais problemas. Esses micronutrientes comprometem a saúde e o funcionamento do corpo, pois podem provocar o desenvolvimento de doenças como retardo no crescimento, anemias e disfunções imunológicas. Portanto, alimentos enriquecidos com zinco e ferro podem reduzir doenças e gastos com saúde pública (SOCCOL et al, 2021).

Para reduzir a carência de zinco são necessárias medidas capazes de elevarem os teores desses elementos nos produtos agrícolas. Dentre essas medidas, está a utilização da tecnologia de biofortificação agronômica. A biofortificação agronômica é uma técnica de manejo agrícola que pode aumentar o conteúdo de minerais e vitaminas, propiciando uma maneira sustentável e de baixo custo em fornecer a população acesso a alimentos mais nutritivos e saudáveis (GUPTA et al., 2016).

Neste contexto, a tecnologia de biofortificação por zinco num alimento de alto valor biológico como a aveia pode aprimorar a qualidade nutricional trazendo grandes benefícios a saúde humana (ZOU et al., 2019). O objetivo do estudo é validar a biofortificação agronômica por zinco via foliar em aveia observando os reflexos desta tecnologia sobre os indicadores de produtividade e a concentração de zinco e ferro nos grãos.



## METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido nos anos agrícolas de 2020 à 2022 na área experimental do Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR) – UNIJUÍ, em Augusto Pestana – RS, Brasil. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com 8 repetições em 5 níveis do composto com zinco ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) nas doses 0, 500, 1000, 2000 e 4000 g ha<sup>-1</sup>, aplicado via foliar na fase de início do enchimento de grãos da aveia. O volume de água dimensionado de água foi considerando a aplicação de 500 litros ha<sup>-1</sup>.

A semeadura foi realizada em junho com semeadora-adubadora para composição de unidades experimentais de 5 m<sup>2</sup>, com densidade de 400 sementes viáveis m<sup>-2</sup>. Os manejos de adubação e controle de invasoras e doenças foram realizadas conforme indicações técnicas da cultura. Antes da colheita de forma aleatória dez panículas de cada parcela foram coletadas para análise, que foram: comprimento da panícula (CP, cm), mensurado com auxílio de 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 em balança de precisão; 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<sup>-1</sup>), obtido pela razão da massa de grãos da panícula pela massa da panícula ( $\text{ICP} = \text{MGP}/\text{MP}$ ). Na colheita de grãos foi realizado o corte de três linhas centrais de cada parcela e trilhadas para estimativa da produtividade de grãos (PG, kg ha<sup>-1</sup>), sendo pesados em balança de precisão.

Para análise da concentração de zinco, foram pesados 20 gramas de grãos com casca em balança de precisão. Após, foram direcionadas em forno com temperatura entre 70 e 80 °C, para correção de variação de peso e cada amostra moída no moinho por cerca de 90 segundos. Após as amostras foram peneiradas, com a peneira de malha 270, com tamanho de 53 micron, onde cada amostra resultou numa massa de 5 a 6 gramas. As amostras foram devidamente identificadas e submetidas a análise via espectrometria de absorção atômica. Foram realizadas análise de variância, comparação de médias e de regressão polinomial na estimativa do comportamento e análise da eficiência da biofortificação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, nos anos de 2020 e 2022, os indicadores de produtividade não apresentaram diferenças pelas doses do composto de zinco. Em 2021, diferenças foram obtidas

sobre número de grãos, massa da panícula e massa de grãos da panícula, porém, as doses do composto com zinco não alteraram a produtividade de grãos.

**Tabela 1.** Valores médios dos indicadores da inflorescência e produtividade de grãos de aveia pela biofortificação agronômica com as doses do composto sulfato de zinco.

| Dose<br>ZnSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O<br>(g ha <sup>-1</sup> ) | Indicadores da Produtividade (y) |            |            |           |            |                             |                              |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------|------------|-----------|------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                                                      | CP<br>(cm)                       | NEP<br>(n) | NGP<br>(n) | MP<br>(g) | MGP<br>(g) | ICP<br>(g g <sup>-1</sup> ) | PG<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) |
| 2020 (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                       |
| 2021 (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                       |
| 2022 (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                       |

Dose Zn – Dose de biofortificação por sulfato de zinco (g ha<sup>-1</sup>); CP – Comprimento da panícula; NEP – Número de espiguetas da panícula; NGP – Número de grãos da panícula; MP – Massa da panícula; MGP – Massa de grãos da panícula; ICP – Índice de colheita da panícula; PG – Produtividade de grãos; 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 Tabela 2, independente do ano agrícola, se verifica que há tendência de incremento da concentração e zinco nos grãos de aveia com o aumento das doses do composto com zinco pela biofortificação via foliar. Com base na média dos três anos, o emprego da tecnologia da biofortificação parte de uma concentração de zinco de 34,26 para 50,44 mg kg<sup>-1</sup> nos grãos com a dose de 4000 g ha<sup>-1</sup> de sulfato de zinco, um incremento de 47,2%. Por outro lado, se verifica uma tendência de diminuição do ferro com o incremento de doses do composto.

**Tabela 2.** Valores médios de zinco e ferro em grãos de aveia pela biofortificação agronômica com as doses do composto sulfato de zinco.

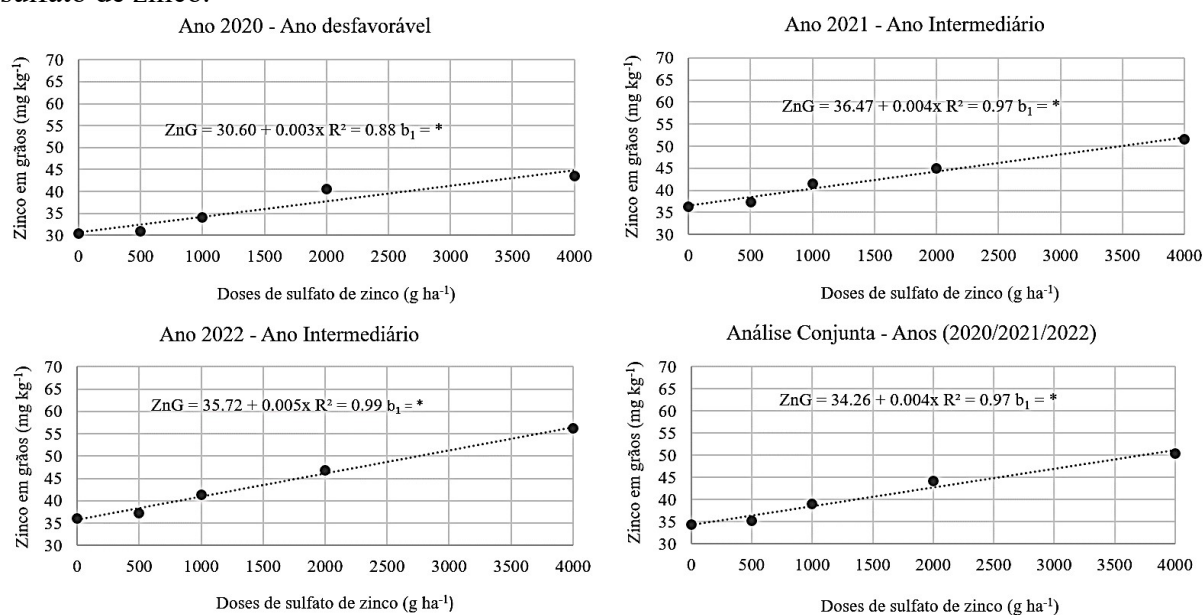
| Dose<br>ZnSO <sub>4</sub> 5H <sub>2</sub> O<br>(g ha <sup>-1</sup> ) | Indicadores da Composição Química Inorgânica (y) |                               |                               |                               |                               |                               |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                                                                      | 2020 (AD)                                        |                               | 2021 (AI)                     |                               | 2022 (AI)                     |                               |
|                                                                      | ZnG<br>(mg kg <sup>-1</sup> )                    | FeG<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | ZnG<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | FeG<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | ZnG<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | FeG<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) |
| 0                                                                    | 30.52 d                                          | 402.62 a                      | 36.25 d                       | 284.50 a                      | 36.05 d                       | 390.08 a                      |
| 500                                                                  | 30.92 d                                          | 389.37 b                      | 37.35 d                       | 282.10 a                      | 37.17 d                       | 385.25 b                      |
| 1000                                                                 | 34.05 c                                          | 379.02 c                      | 41.45 c                       | 239.97 b                      | 41.30 c                       | 379.30 c                      |

|      |         |          |         |          |         |          |
|------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| 2000 | 40.55 b | 360.82 d | 45.00 b | 200.42 c | 46.87 b | 312.77 d |
| 4000 | 43.57 a | 322.82 e | 51.60 a | 201.07 c | 56.15 a | 304.82 e |

Dose Zn – Dose de biofortificação por sulfato de zinco (g ha<sup>-1</sup>); ZnG – Zinco em grãos de aveia; FeG – Ferro em grãos de aveia; 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, os resultados confirmam que a aplicação via foliar do composto com zinco trazem resultados efetivos de incremento do nutriente em grãos de aveia. Portanto, dando suporte em enriquecer alimentos com baixa concentração deste nutriente ou mesmo de mais fácil acesso a população. Destaca-se a possibilidade de inclusão de um alimento nutracêutico como a aveia enriquecido com zinco, pensando em alimentos voltados a merenda escolar.

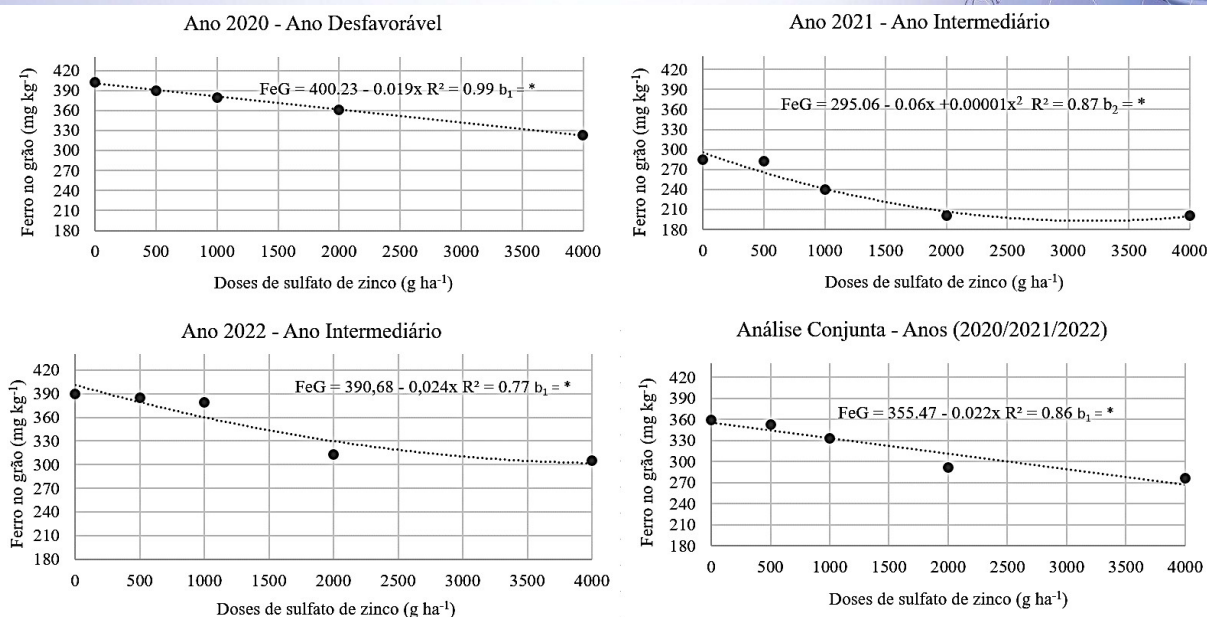
**Figura 1.** Regressão do zinco nos grãos de aveia em função da biofortificação das doses com sulfato de zinco.



ZnG – Zinco no grão;  $R^2$  – Coeficiente de determinação;  $b_1$  – Significância do parâmetro angular da equação de regressão em 0.05 de probabilidade de erro.

Na Figura 2, se observa que o aumento das doses do composto com zinco promovem redução de ferro nos grãos de aveia, com significância do parâmetro angular da regressão. Uma condição que exige adequar uma dose do composto buscando máxima qualidade dos grãos.

**Figura 2.** Regressão do ferro nos grãos de aveia em função da biofortificação das doses com sulfato de zinco.



FeG – Ferro no grão;  $R^2$  – Coeficiente de determinação;  $b_n$  – Significância do parâmetro angular da equação de regressão em 0.05 de probabilidade de erro

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de biofortificação não promove alterações efetivas nos indicadores de produtividade ligadas a panícula de aveia e produtividade final. O uso do composto com zinco promove aumento significativo de zinco nos grãos. A elevação de zinco promove redução do conteúdo de ferro nos grãos, condição que deve ser analisada para estabelecer um equilíbrio de ambos nutrientes nos grãos de aveia.

**Palavras-chave:** *Avena sativa*. Micronutriente. Qualidade nutricional. Agenda 2030.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- SILVA, J.A.G. DA; ARENHARDT, E.G.; KRÜGER, C.A.M.B.; LUCCHESI, O.A.; METZ, M.; MAROLLI, A. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.1, p.27-33, 2015.
- SOCCOL, Caroline Pagani *et al.* Alimentos biofortificados no Brasil e sua importância no combate à fome oculta. **IFSC: Campus Xanxerê**, 2021.
- 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.