

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

IMPORTÂNCIA DA BIOFORTIFICAÇÃO COM ZINCO NA CULTURA DO MILHO (*ZEA MAYS*) NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA HUMANA E ANIMAL

Data de aceite: 18/07/2025

Dalila Anzolin

Centro Universitário Campo Real
Prudentópolis – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/2450819970943560>

Caroline Rack Vier

Eng. Agrônoma, Doutoranda em manejo de
Grandes Culturas – Universidade Estadual
do Centro-Oeste
Guarapuava – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0070791663554526>

Ana Karla Rolim

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/1129888476951344>

Ana Paula Kluguer de Oliveira

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Pinhão - Paraná
<https://lattes.cnpq.br/4477743824006846>

Deonisia Martinichen

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava – Paraná
<https://lattes.cnpq.br/7563584856777215>

Todo o conteúdo desta revista está
licenciado sob a Licença Creative
Commons Atribuição 4.0 Interna-
cional (CC BY 4.0).



Fabiéli Teixeira da Rosa Kluge

Doutoranda em Manejo de Grandes Culturas
– Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/9926532392022633>

Fabiola do Nascimento Lima

Eng. agrônoma, Mestranda em Produção
Vegetal – Universidade Estadual do Centro-
Oeste
Guarapuava - Paraná
<http://lattes.cnpq.br/2318496433284467>

Karin Kamila Birck Lopes de Matos

Doutoranda em Manejo de Grandes Culturas
– Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava - Paraná
<http://lattes.cnpq.br/7829089166981305>

Maria Eduarda Napoli

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava - Paraná
<http://lattes.cnpq.br/7567257060916577>

Wanessa Aparecida da Rocha

Universidade Estadual do Centro-Oeste
Guarapuava - Paraná
<https://lattes.cnpq.br/1071738810154785>

Resumo: A cultura do milho é uma das mais importantes para o Brasil, sendo um dos principais alimentos consumidos e exportados. Dentre os variados fatores que influenciam no desenvolvimento da planta esta a necessidade de implementar macro e micronutrientes essenciais e um exemplo deles é o zinco. O zinco é um micronutriente essencial para muitas funções usado tanto para a nutrição animal, para os seres humanos e para os vegetais, porém se encontra presente em pequenas concentrações sendo necessário suplementar. Assim sendo, essa complementação pode ocorrer por meio de técnicas como a biofortificação oriunda do melhoramento vegetal que possibilitam um alimento com maior valor nutricional.

Palavras-chave: Nutrição Animal. Melhoramento Vegetal. Suplementação.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é um cereal pertencente a família *Poaceae* (Gramíneas) de caráter anual e com ciclo que pode variar em média de 120 a 150 dias, podendo variar entre 90 a 180 dias – isso inclui todas as fases fenológicas da cultura e é muito influenciado pelos tipos de cultivares, região de plantio e principalmente fatores climáticos como temperatura, radiação (tempo luz) e condições pluviométricas – precisando estar em equilíbrio para melhor desenvolvimento; é estival (verão), cespitosa e ereta, C4, adaptável em diferentes condições e ambientes com destaque para seu alto valor produtivo, muito visado tanto na indústria alimentícia humana quanto para a animal (Cruz *et al.*, 2006; Nunes, 2020).

Além das condições ambientais em que essa cultura se encontra, a disponibilidade de nutrientes também se torna um fator primordial no desenvolvimento do milho e aqui entra a importância dos macro e micronutrientes vitais para isso: de modo geral os exemplos de macronutrientes mais importantes para essa

cultura são o Nitrogênio (N) – importante para o crescimento vegetativo e participa na produção de clorofila, Fósforo (P) – floração, formação de grãos e raízes e Potássio (K) – resistência a doenças e ativação enzimática; de micronutrientes estão o Ferro (Fe) – é um catalisador de fotossíntese, o Manganês (Mn) – respiração e fotossíntese e o Zinco (Zn) – um dos mais importantes micronutrientes que participa da divisão celular, do crescimento e formação de grãos (Agro Bayer, 2022).

Um dos problemas enfrentados é que alguns desses nutrientes podem se apresentar deficiência na sua quantidade e por isso necessitam de uma forma de suplementação, ou seja, uso de biotecnologias como melhoramento vegetal ou tratamentos de sementes no caso das plantas bem como aditivos na alimentação dos animais tanto para cães e gatos como para animais de produção (Espindula, 2024).

A produtividade de uma cultura é ditada pela nutrição adequada e uma carência de algum destes se torna limitante para o desenvolvimento mesmo que os demais estejam em equilíbrio o que ditará o teto da produção será o mais limitante. Dentre os mais essenciais e que precisam atenção é o Zinco (Zn) (Dall'Agnol, 2021).

Além dos vegetais, ele se faz importante tanto para humanos quanto para produção animal. Para humanos essa deficiência pode estar vinculada ao consumo de alimentos que possuam níveis baixos desse nutriente (Dall'Agnol, 2021).

Na nutrição animal esse como também outros minerais são fatores importantes dentro de funções fisiológicas como as reprodutivas, manutenção do sistema imunológico, formadora de enzimas e proteínas, primordial para o crescimento e desenvolvimento como um todo, quanto ao fornecimento pode ser através de rações e aditivos em dietas (Cosmo e Galeriani, 2020).

O zinco também pode estar presente em processo fisiológicos de aves como saúde das

cascas dos ovos; em bovinos e equinos é fundamental para formação e fortificação óssea; bem como na regulação de hormônios como a insulina, testosterona e o cortisol. Sua falta pode afetar todo o organismo como complicações reprodutivas, problemas de cascos, chifres e pele, baixa na imunidade e perda de apetite (Indubras, 2025).

Para suprir tais deficiências é aplicado técnicas para adicionar esses elementos em culturas como feijão, soja e o milho visando melhorar nutricionalmente o consumo do alimento aumentando assim o consumo adequado dos nutrientes, essa técnica chama-se biofortificação, que irá servir como solução global para resolver tais problemas (Boschiero, 2023).

METODOLOGIA

A metodologia utilizada para elaborar o presente trabalho sendo uma revisão de literatura. Foi realizada buscas de artigos referentes ao assunto abordado no Google Acadêmico, Scielo e Embrapa. Para compor a pesquisa foram selecionados 19 artigos sobre a o papel das técnicas de biofortificação com o micronutriente zinco (Zn) na cultura do milho juntamente com sua importância na nutrição humana e animal.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, existe um programa desenvolvido pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) o qual visa estudar em algumas culturas além do milho como feijão, mandioca e arroz a importância da biofortificação - chamado de BIOfort; dentre as primeiras culturas destaca-se a as cultivares de feijão caupi – Xiquexique e da madioca amarela – a BRS Jari; ambos apresentaram pós técnica aumento de nutrientes como Fe (ferro) e vitamina A, por exemplo. No milho, os objetivos serão para aumentar carotenoides – precursor da vitamina A, proteínas e aminoácidos, bem como ferritina e fitase (Gonçalves, 2017).

A biofortificação agronômica assim chamada surgiu como uma estratégia às preocupações com os teores nutricionais na parte comestível das culturas, nesse contexto o uso de biofertilizantes se tornam umas das maneiras mais usadas sendo aqui a escolha de como incorporar (Moraes *et al.*, 2012).

Nesse estudo o nutriente que mais que mais apresenta bons resultados de incorporação é o zinco sendo possível a seleção de plantas melhor responsivas ao melhor acúmulo do nutriente no grão; como associação existe a biofortificação genética que é uma linha de pesquisa onde usa-se métodos a trangenia, com amplo acervo genético na concentração de micronutrientes nas partes comestíveis da cultura possibilitando a seleção de exemplares com genes que permitam essa maior concentração (Moraes *et al.*, 2012).

A presença de variabilidade genética possibilita a criação de linhagens promissoras para a aplicação da biofortificação, possibilitando aos especialistas a exploração de estratégias de melhoramento genético. Outros critérios que existem também é a influência de fatores ambientais como o clima, fatores antinutricionais presentes nos grãos e o impacto do seu processamento na sua disponibilidade nutriente (Gonçalves, 2017).

O manejo do solo por meio da supercalagem pode impactar negativamente os teores de zinco disponíveis para as plantas, uma vez que há relatos de que esse procedimento afeta a solubilidade das fontes de zinco ou promove sua retenção no complexo coloidal do solo — estrutura fundamental que atua na retenção de nutrientes e na disponibilidade de água para as plantas (Ferreira *et al.*, 2001). Apesar de a exigência de zinco pelas culturas ser relativamente pequena, a disponibilidade adequada desse micronutriente é essencial para o bom desenvolvimento vegetal. Nos solos brasileiros, os teores médios de zinco podem atingir até 40 mg/kg, estando presentes em formas como óxido de zinco, quelatos (como o EDTA) e também silicato de zinco, sendo

essas fontes utilizadas em práticas de correção nutricional (Santos *et al.*, 2023).

Esse mineral é considerado essencial para o crescimento do vegetal como um todo, uma vez que participa de vários ciclos metabólicos como síntese de proteínas e o milho é vulnerável a carência desse micronutriente. No solo geralmente o zinco está na forma de solução de cátion Zn^{2+} e para definir a quantidade de aplicação deve-se realizar análises de solo, alguns valores da tabela abaixo foram encontrados na literatura baseados em dados presente no trabalho de Brasil e Cravo (2020):

NUTRIENTES	Disponibilidade de micronutrientes (mg/dm ³)		
	BAIXA	MÉDIA	ALTA
BORO	< 0,35	0,35 – 0,90	>0,90
COBRE	< 0,70	0,70 – 1,80	>1,80
FERRO	< 18	18 - 45	>45
MANGANÊS	< 5	5 - 12	>12
ZINCO	< 0,9	0,9 – 2,2	>2,2

Fonte: Adaptada de Brasil e Cravo (2020).

O benefício do fornecimento de zinco está que dependendo da concentração que ele esteja no solo, pode elevar a produção em até 60 sacas/ha de grãos dependendo da região (Galrão, 1999).

Como métodos de aplicação de zinco na cultura do milho tem a possibilidade de ser via solo (incorporado ou a lanço), tratamento de semente e folhas. A aplicação via sementes, por exemplo funciona como importante via de nutrição da planta e fortalece a ideia de que com isso haja uma reserva do nutriente e assim evite que ocorram as deficiências (Ribeiros e Santos, 1996).

Estudos realizados ao longo dos anos, tanto em laboratório quanto em campo, comprovam que a inclusão de zinco aumenta a matéria seca e a produção de grãos de milho e sua utilização através do tratamento de semente compõe resultados significativos de absorção do nutriente (Prado *et al.*, 2008).

Em um dos trabalhos analisados demonstraram que alguns nutrientes podem afetar positivamente ou negativamente essa disponibilidade, que também dependerá do método de adubação, no trabalho realizado por Rasteiro, Junior e Filho (2020), demonstraram por meio de experimentos com aplicação de zinco via foliar encontraram resultados como a aplicação de doses altas de Nitrogênio (N) poderia diluir o zinco e assim acarretar a deficiência, em contrapartida em mais análises a utilização do nitrogênio pode alavancar sua disponibilidade na porção vegetativa do milho mesmo que o zinco possa apresentar mobilidade intermediária no floema.

Ademais, quanto a aplicações de zinco via foliar na cultura nem sempre serão significativos na produtividade, sendo frequentemente necessário realizar associações entre os métodos de adubação, isso acontece por causa da reduzida capacidade de redistribuição do nutriente no floema, sendo assim sua translocação irá depender da disponibilidade na parte vegetativa (Ferreira *et al.*, 2001).

No milho o zinco é mobilizado durante o desenvolvimento das plântulas tanto por translocação dessas reservas ou pela absorção via raízes e suas concentrações podem variar entre as variedades de milho. Os elementos que influenciam a concentração de zinco na semente podem ter uma atuação direta ou indireta. A intervenção direta pode ocorrer de duas formas: na regulação da habilidade da planta em absorver zinco ou na transferência deste para a semente. A intervenção indireta

ocorre no gerenciamento do tamanho da semente ou da quantidade de sementes por espiga, sendo muito importante na fase inicial de enchimento aumentando peso e proteína nos grãos (Ribeiro e Santos, 1996).

Os sinais de deficiência podem ser observados pelo atraso de crescimento da planta com aparecimento manchas clorótidas centralmente nas folhas começando pela base - folha listrada; arroxamento na borda e caule quando essa deficiência é grave. Esses fatores são piorados quando o solo possui ph ácido, com propriedades orgânicas, com excesso de fósforo, corrigidos com altas concentrações de cacáio e com muita umidade ou frio (Yara, 2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biofortificação da cultura do milho representa uma estratégia essencial para ofertar mais qualidade nutricional não somente a essa mas as demais culturas, e assim combater a deficiência desse micro nutriente que é muito importante tanto para humanos quanto para animais. Sua aplicação no milho, um dos cereais mais consumidos no mundo possui alta relevância pois contribui para segurança alimentar.

Com o crescimento populacional, surgem preocupações com alimentação das pessoas e o quanto a modernidade pode afetá-la seja de forma positiva ou negativa proporcionando que técnicas sejam empregadas para que seja possível alimentar-se de forma saudável, consolidando-se como uma prática promissora na agricultura moderna.

REFERÊNCIAS

- AGRO bayer. Nutrientes do milho. Conheça os macro e os micronutrientes desta cultura. **AGRO BAYER – BLOG DO AGRO**, 2022. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/conteudos/nutrientes-do-milho>. Acesso em: 6 mai. 2025.
- BOSCHIERO, B.N. O que é biofortificação de alimentos? 6 alimentos já cultivados no Brasil. **PORTAL AGROADVANCE – Escola de Negócios Agro**, 2023. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-biofortificacao-alimentos-biofortificados/>. Acesso em: 9 mai. 2025.

BRASIL, E.C.; CRAVO, M.S. Interpretação dos resultados da análise do solo. INFOTECA - EMBRAPA, 2020. cap. 4. p. 62-64. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127238/1/LV-RecomendacaoSolo-2020-63-66.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2025.

COSMO, B.M.N.; GALERIANI, T.M. **Minerais na alimentação animal**. Revista Agronomia Brasileira. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal - UNESP, 2020. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/ensino/departamentos/cienciasdaproducaoagricola/laboratoriodeematologia-labmato/revistaagronomiabrasileira/rab202011.pdf>. Acesso em: 9 mai. 2025.

CRUZ, J.C. *et al.* Manejo da cultura do Milho. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, INFOTECA - EMBRAPA, Sete Lagoas - MG, dez/2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490419/1/Circ87.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2025.

DALLAGNOL, A. ZINCO agrícola: pequeno na demanda, mas muito necessário. **PORTAL AGROLINK**, 2021. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/zinco-agricola--pequeno-na-demanda--mas-muito-necessario_455728.html. Acesso em: 8 mai. 2025.

ESPINDULA, C. O que é: Deficiência nutricional em animais. **BLOG DRA CAROLLINA ESPINDULA VET.**, 2024. Disponível em: <https://dracamillaespindulavet.com.br/glossario/o-que-e-deficiencia-nutricional-em-animal/>. Acesso em: 6 mai. 2025.

FERREIRA, A.C.B. *et al.* Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **SCIELO** - Solos e Nutrição de Plantas, Piracicaba - SP, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/vRzmJDvprSPdZ-b5hkCHQkTJ/>. Acesso em: 10 mai. 2025.

GALRÃO, E.Z. Correção da deficiência de zinco em lavouras de milho nos solos de cerrado. Guia Técnico do Produtor Rural - **EMBRAPA**, 1999. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/555045/1/gtec31.pdf>. Acesso em: 7 mai. 2025.

GETAP agro. Importância do Zinco no milho. **PORTAL GETAP AGRO**, 2025. Disponível em: <https://getap.agr.br/2022/11/03/importancia-do-zinco-no-milho/#:~:text=Micronutriente%20limitante%20para%20o%20milho.%201%20Folhas%20jovens,elevados%20conte%C3%BAdos%20de%20Fe%2C%20Mn%2C%20P%20e%20NO3..> Acesso em: 8 mai. 2025.

GONÇALVES, A.S.F. **Avaliação de híbridos de milho visando à biofortificação com zinco**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre. Lavras - MG, 2017. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/13114/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Avalia%C3%A7%C3%A3o%20de%20h%C3%ADbridos%20de%20milho%20visando%20c%C3%A3o%20biofortifica%C3%A7%C3%A3o%20com%20zinco.pdf. Acesso em: 10 mai. 2025.

INDUBRAS industria veterinária. Zinco: saiba porque esse mineral é essencial. In: **INDÚSTRIA VETERINÁRIA S/A**, 2025. Disponível em: <https://indubras.vet.br/criacao/zinco-por-que-esse-mineral-e-essencial-para-aves-equinos-bovinos-e-suinos/>. Acesso em: 7 mai. 2025.

MORAES, M.F. *et al.* Biofortificação como alternativa à segurança alimentar. **SLIDEShare** - Informações agronômicas, dez/2012. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/biofortificacao-como-alternativa/16362923>. Acesso em: 10 mai. 2025.

NUNES, J.L.S. Características do milho. **PORTAL AGROLINK**, 2023. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/culturas/milho/informacoes/caracteristicas_361401.html. Acesso em: 5 mai. 2025.

PRADO, R. M. *et al.* **MODOS DE APLICAÇÃO DE ZINCO NA NUTRIÇÃO E NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO MILHO BRS 1001**. Biosci. J., Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 67-74, Jan./Mar. 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/00afcfc8-ccea-476e-a179-fa486e9a1473/content>. Acesso em: 9 mai. 2025.

RASTEIRO, B.A.F.; JUNIOR, F.C.Z.; FILHO, J.A.F. Interação de nitrogênio e zinco na produção de milho. **Revista Ciência & Tecnologia**. Fatec Nilo De Stéfani (Fatec-JB). Jaboticabal - SP - Brasil . v. 12, n.1, 2020. Disponível em: file:///C:/Users/Dalila/Downloads/admin,+art_9_p_97_109.pdf. Acesso em: 13 mai. 2025.

RIBEIRO, N.D.; SANTOS, O.S. Aproveitamento do zinco aplicado na semente na nutrição da planta. **SCIELO** – Fitotecnia - Cien. Rural 26 (1), Abr/1996. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/LdmdtkMVxdHg6s3qdjkj5DK/>. Acesso em: 5 mai. 2025.

SANTOS, L.P.S. *et al.* INFLUÊNCIA DO ZINCO NO MILHO. **Revista Científica UNIATENAS**, Faculdade Atenas – Paracatu – MG, 2023. v. 16. n. 1. Disponível em: https://www.atenas.edu.br/uniatenas/assets/files/magazines/1/INFLU%C3%8ANCIA_DO_ZINCO_NO_MILHO.pdf. Acesso em: 10 mai. 2025.

YARA brasil. Deficiência de zinco no milho. **YARA BRASIL**, 2025. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas/milho/deficiencias-milho/deficiencia-de-zinco-milho/>. Acesso em: 12 mai. 2025.