

Eficiência de diferentes doses de fósforo, zinco e molibdênio aplicadas via tratamento de sementes na qualidade das sementes de milho

Efficiency of different doses of phosphorus, zinc, and molybdenum applied via seed treatment on the quality of maize seeds

Eficiencia de diferentes dosis de fósforo, zinc y molibdeno aplicadas mediante tratamiento de semillas en la calidad de las semillas de maíz

Recebido: 29/09/2025 | Revisado: 20/10/2025 | Aceitado: 21/10/2025 | Publicado: 23/10/2025

Melissa Cassou Trindade Nunes¹

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9393-8834>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: mell.trindade13@gmail.com

Helen Mariana Cock Protzek²

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7619-8119>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: helenprotzek@gmail.com

Alessandro Lucca Braccini³

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6915-4804>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: albraccini@uem.br

Silas Maciel de Oliveira³

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1162-2994>

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

E-mail: smoliveira2@uem.br

Resumo

O Brasil é destaque no setor agrícola mundial e está entre os três maiores produtores de milho. Contudo, apesar das altas produtividades, um dos fatores que promovem perdas significativas na produção é o desequilíbrio nutricional das plantas. A deficiência de macro e micronutrientes, como fósforo (P), zinco (Zn) e molibdênio (Mo), pode ocasionar reduções consideráveis na produtividade do milho. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adição de P, Zn e Mo, aplicados via tratamento de sementes com diferentes níveis de vigor inicial, sobre a qualidade fisiológica de sementes de milho. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com oito repetições analíticas, utilizando a cultivar IAC 8077 (Instituto Agronômico, categoria S1). Os tratamentos consistiram na combinação de nove doses de formulação contendo P, Zn e Mo (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 mL 100 kg⁻¹ de sementes) e dois níveis de vigor inicial (alto e baixo), em esquema fatorial 9 × 2, totalizando 18 tratamentos. Os aspectos fisiológicos das sementes foram avaliados por meio dos testes de germinação, envelhecimento acelerado, frio modificado, emergência em areia e emergência em campo. Os melhores resultados de potencial fisiológico ocorreram com 50 mL 100 kg⁻¹ de sementes da formulação contendo P, Zn e Mo, principalmente em sementes de alto vigor inicial. As diferentes doses empregadas não promoveram sintomas de fitotoxidez nas plântulas.

Palavras-chave: Milho; Tratamento de sementes; Nutrientes; Qualidade fisiológica.

Abstract

Brazil stands out in the global agricultural sector and ranks among the top three maize producers. However, despite high yields, one of the factors that significantly reduces production is plant nutritional imbalance. Deficiencies in

¹ Mestranda em Agronomia - Universidade Estadual de Maringá (UEM), Brasil.

² Doutoranda em Agronomia - Universidade Estadual de Maringá (UEM), Brasil.

³ Doutor em Agronomia - Universidade Estadual de Maringá (UEM), Brasil.

macro- and micronutrients such as phosphorus (P), zinc (Zn), and molybdenum (Mo) can lead to considerable losses in maize yield. This study aimed to evaluate the effect of adding P, Zn, and Mo via seed treatment, in seeds with different initial vigor levels, on maize seed physiological quality. The experiment was conducted in a completely randomized design with eight analytical replications, using the cultivar IAC 8077 (Agronomic Institute, S1 category). Treatments consisted of combining nine doses of a formulation containing P, Zn, and Mo (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, and 400 mL per 100 kg of seeds) with two initial vigor levels (high and low), in a 9×2 factorial arrangement, totaling 18 treatments. Physiological quality was assessed using standard germination, accelerated aging, modified cold test, seedling emergence in sand, and field emergence. The best physiological potential results were obtained with a dose of 50 mL per 100 kg of seeds in the formulation containing P, Zn, and Mo, especially in high-vigor seeds. The different doses did not cause phytotoxicity symptoms in the resulting seedlings.

Keywords: Maize; Seed treatment; Nutrients; Physiological quality.

Resumen

Brasil se destaca en el sector agrícola mundial y se encuentra entre los tres principales productores de maíz. Sin embargo, a pesar de las altas productividades, uno de los factores que provoca pérdidas significativas en la producción es el desequilibrio nutricional de las plantas. La deficiencia de macro y micronutrientes como fósforo (P), zinc (Zn) y molibdeno (Mo) puede ocasionar reducciones considerables en el rendimiento del maíz. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de P, Zn y Mo, aplicados mediante tratamiento de semillas con diferentes niveles de vigor inicial, sobre la calidad fisiológica de las semillas de maíz. El experimento se realizó en un diseño completamente aleatorizado con ocho repeticiones analíticas, utilizando la cultivar IAC 8077 (Instituto Agronómico, categoría S1). Los tratamientos consistieron en la combinación de nueve dosis de una formulación con P, Zn y Mo (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 y 400 mL por 100 kg de semillas) y dos niveles de vigor inicial (alto y bajo), en un esquema factorial 9×2 , totalizando 18 tratamientos. La calidad fisiológica se evaluó mediante pruebas de germinación, envejecimiento acelerado, frío modificado, emergencia en arena y emergencia en campo. Los mejores resultados de potencial fisiológico se obtuvieron con la dosis de 50 mL por 100 kg de semillas de la formulación con P, Zn y Mo, especialmente en semillas de alto vigor. Las diferentes dosis no provocaron síntomas de fitotoxicidad en las plántulas resultantes.

Palabras clave: Maíz; Tratamiento de semillas; Nutrientes; Calidad fisiológica.

1. Introdução

O crescimento da população mundial aumenta e consecutivamente a necessidade de alimentos, fibras e energia, afetando diretamente as demandas do setor produtivo agrícola no mundo. Estima-se que o consumo global de produtos agrícolas e pesqueiros deverá crescer em 13 % até 2034, e a produção global deverá se expandir em 14 % para acompanhar essa demanda (OECD & FAO, 2024).

O Brasil destaca-se no setor agrícola global entre os três maiores produtores de milho; no país, o aumento da produção está diretamente relacionado ao uso intensivo da cultura como matéria-prima para alimentação animal e a fabricação de etanol. De acordo com a CONAB, cerca de 50 % da produção de milho é destinada à alimentação de bovinos, suínos e aves, 10 % é empregada em usinas de etanol e, aproximadamente, 30 % disponível para exportação (CONAB, 2023). Além disso, estimativas da USDA apontam que, no ano-safra 2023/24, mais de 9,5 milhões de toneladas de milho foram consumidas pela indústria de etanol com o objetivo de produzir cerca de 4,1 bilhões de litros de biocombustível (USDA, 2023).

Alguns nutrientes, embora necessários em quantidades muito pequenas, são cruciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Esses micronutrientes, como ferro, zinco, manganês, cobre, molibdênio e boro, são fundamentais para processos fisiológicos e bioquímicos, incluindo a síntese de enzimas, a fotossíntese e a respiração celular (Marschner, 2022). A deficiência desses elementos pode limitar severamente o desenvolvimento das plantas, afetando a produtividade e a qualidade das culturas (Taiz et al., 2021).

O zinco e o molibdênio são dois micronutrientes essenciais para a produção de milho. Entretanto, sua aplicação no solo muitas vezes é inviável devido ao comportamento complexo desses micronutrientes e à variedade de fatores que afetam sua disponibilidade para as plantas. O molibdênio aplicado em sementes de milho pode influenciar a qualidade fisiológica das mesmas, onde dosagens altas podem ter efeitos negativos, enquanto doses reduzidas podem apresentar resultados positivos, devido estar diretamente relacionado nos processos metabólicos da planta (González et al., 2023).

A deficiência de macro e micronutrientes no milho compromete rotas bioquímicas essenciais, consequentemente, afeta a formação de lipídios e proteínas que estruturam as membranas celulares. Segundo Costa Júnior (2024), o zinco é fundamental, atuando como um ativador de enzimas na síntese de triptofano, que é o precursor do ácido indolacético (AIA), hormônio responsável pelo crescimento celular. Sua deficiência reduz a produção de sementes e afeta a estrutura das membranas celulares, resultando na redução da produtividade e qualidade do milho.

Além destes, o fósforo também apresenta grande importância no cultivo do milho, pois é essencial para o estabelecimento inicial das plantas, sendo responsável pela transferência de energia entre as células e por ser um componente estrutural. De acordo com Barreto e Fernandes (2002), a aplicação adequada de fósforo é fundamental para otimizar a produtividade do milho, ressaltando a relevância desse nutriente no desenvolvimento da cultura.

Uma alternativa eficiente é o tratamento de sementes com a aplicação de nutrientes, uma vez que o produto se torna diretamente acessível à semente, possibilitando o uso de menores doses de fertilizantes.

A aplicação de macronutrientes e micronutrientes no tratamento de sementes tem se mostrado uma técnica eficiente para melhorar a nutrição inicial das plantas, resultando em maior vigor e melhor estabelecimento da cultura. A aplicação desses elementos diretamente na semente possibilita rápida e precisa disponibilização dos nutrientes, favorecendo a germinação, o desenvolvimento radicular e a tolerância a estresses abióticos (Silva et al., 2023).

Pesquisas recentes indicam que essa prática não só potencializa o rendimento das plantas, mas também melhora a eficiência no uso dos fertilizantes. Além disso, o uso de produtos formulados à base de micronutrientes no tratamento de sementes pode reduzir a necessidade de aplicação de fertilizantes no solo, tornando a prática mais sustentável e econômica (Khan et al., 2020).

A adoção da tecnologia de tratamento de sementes utilizando produtos à base de macro e micronutrientes tem sido amplamente recomendada para culturas como milho, soja e trigo. Incorporar esses produtos no manejo nutricional constitui uma importante ferramenta para a agricultura moderna, pois, além de melhorar a eficiência do uso dos nutrientes, contribui diretamente para a segurança alimentar (Santos et al., 2020).

Espera-se que a aplicação de nutrientes como fósforo, zinco e molibdênio via tratamento de sementes possa influenciar positivamente a qualidade fisiológica das sementes de milho, elevando seu potencial e, consequentemente, o desempenho das plântulas no campo, facilitando seu estabelecimento inicial.

Dessa forma, torna-se fundamental desenvolver mais pesquisas que auxiliem na formulação de orientações técnicas para a aplicação de produtos à base de micronutrientes via tratamento de sementes, com foco especial na compreensão dos efeitos e das doses ideais para maximizar o potencial fisiológico das sementes.

Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adição de fósforo, zinco e molibdênio, aplicados por meio do tratamento de sementes com diferentes níveis de vigor inicial, sobre a qualidade das sementes de milho.

2. Materiais e Métodos

Realizou-se uma pesquisa experimental, laboratorial, de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018) e com emprego de estatística descritiva simples com classes de dados, valores de média, desvio padrão e, frequências absolutas (Shitsuka et al.,

12014).O ensaio foi instalado no Laboratório de Tecnologia de Sementes e em casa de vegetação localizada no Núcleo de Pesquisa Aplicada à Agricultura (NUPAGRI), bem como no campo experimental localizado no Centro Técnico de Irrigação (CTI), pertencentes à Universidade Estadual de Maringá (UEM), localizada no município de Maringá, região Norte Central do Estado do Paraná.

O experimento foi conduzido adotando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com oito repetições analíticas. Foram utilizadas sementes não tratadas de milho híbrido (*Zea mays* L.), cultivar IAC 8077, proveniente do Instituto Agronômico de Campinas, Categoria S1.

Os tratamentos foram constituídos da combinação de nove doses da formulação contendo fósforo (P), zinco (Zn) e molibdênio (Mo): 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 mL 100 kg⁻¹ de sementes e dois níveis de vigor inicial (alto e baixo), arranjos no esquema fatorial 9 x 2 (Doses da formulação x Nível de vigor inicial), totalizando 18 tratamentos.

O tratamento de sementes, com as respectivas doses do formulado à base de nutrientes, foi realizado 24 h antes da instalação dos testes. O produto é composto por 11% de P, 10% de Mo e 5% de Zn. A descrição dos tratamentos empregados está contida na Tabela 1.

Tabela 1. Tratamentos com aplicação da formulação contendo fósforo, zinco e molibdênio em sementes de milho, com 24 h de antecedência à semeadura (UEM, Maringá-PR, 2024).

Tratamento	Dose (mL kg ⁻¹)	Vigor inicial
1	0 mL 100 kg ⁻¹	Baixo
2	50 mL 100 kg ⁻¹	Baixo
3	100 mL 100 kg ⁻¹	Baixo
4	150 mL 100 kg ⁻¹	Baixo
5	200 mL 100 kg ⁻¹	Baixo
6	250 mL 100 kg ⁻¹	Baixo
7	300 mL 100 kg ⁻¹	Baixo
8	350 mL 100 kg ⁻¹	Baixo
9	400 mL 100 kg ⁻¹	Baixo
10	0 mL 100 kg ⁻¹	Alto
11	50 mL 100 kg ⁻¹	Alto
12	100 mL 100 kg ⁻¹	Alto
13	150 mL 100 kg ⁻¹	Alto
14	200 mL 100 kg ⁻¹	Alto
15	250 mL 100 kg ⁻¹	Alto
16	300 mL 100 kg ⁻¹	Alto
17	350 mL 100 kg ⁻¹	Alto
18	400 mL 100 kg ⁻¹	Alto

Fonte: Autores.

A qualidade das sementes de milho foi avaliada por meio dos testes padrão de germinação, envelhecimento acelerado, emergência de plântulas em substrato de areia (em casa de vegetação) e emergência em campo, os quais são descritos a seguir.

Teste padrão de germinação: foi realizado com oito subamostras compostas por 50 sementes para cada tratamento e repetição analítica. As sementes foram semeadas entre três folhas de papel-toalha umedecidas com água destilada, utilizando-

se a quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. Foram confeccionados rolos, os quais foram transferidos para germinador de sementes do tipo Mangelsdorf, regulado para manter constante a temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Foram realizadas avaliações do número de plântulas normais, anormais e mortas aos quatro (primeira contagem) e sete dias (contagem final) após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme as prescrições contidas nas Regras para Análise de Sementes (RAS), versão 2025 (Brasil, 2025).

Teste de frio modificado: realizado com oito repetições compostas por 50 sementes por tratamento. A semeadura foi realizada entre três folhas de papel-toalha previamente umedecidas com água destilada, na proporção de 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos confeccionados foram envoltos por sacos plásticos e lacrados com fita adesiva, permanecendo nessa condição por um período de sete dias em câmara de germinação do tipo B.O.D., na ausência de luz e à temperatura constante de 10°C . Ao término desse período, os rolos foram retirados dos sacos plásticos e transferidos para germinador com temperatura constante de 25°C , por quatro dias (Cícero & Vieira, 2020). Posteriormente, foi realizada a avaliação computando-se o número de plântulas normais. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, segundo os critérios adotados para o teste de germinação (Brasil, 2025).

Teste de envelhecimento acelerado: foi conduzido com oito subamostras de 50 sementes por tratamento e repetição, as quais foram dispostas sobre tela de aço inox inserido no interior de caixas plásticas (tipo gerbox) contendo 40 mL de água destilada (Krzyzanowski et al., 2025). As caixas foram lacradas e incubadas em câmara tipo Water Jacketed Incubator (modelo 3015, VWR/USA) a 42°C , durante 96 horas, conforme metodologia recomendada na Circular Técnica n.º 216 da Embrapa.

A padronização do teor de umidade inicial tem relevância no milho, ajustar para 12 % ou 14 % aliada a períodos de envelhecimento de 72 a 96 h aumenta a sensibilidade ao envelhecimento acelerado na classificação de vigor (Ducatti et al., 2019). Após o período de 96 h, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito anteriormente. A avaliação foi realizada no quarto dia após a semeadura, computando-se as plântulas consideradas normais (Brasil, 2025). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Emergência das plântulas em substrato de areia: conduzida com oito subamostras de 50 sementes para cada tratamento e repetição. A areia utilizada foi previamente lavada e colocada em bandejas plásticas, sendo irrigada durante dois dias consecutivos para acomodação do leito. Na semeadura foram abertos sulcos longitudinais em cada bandeja, com 3 cm de profundidade e espaçados de 4 cm entre si, utilizando-se 50 sementes por sulco. O teste foi realizado sob condições de casa de vegetação e a umidade mantida com irrigações moderadas, uma vez ao dia no início da manhã. Quando as plântulas começaram a emergir, foi realizada irrigação mais constante, até duas vezes ao dia, no início da manhã e final da tarde, para facilitar o rompimento da camada de areia. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, obtidas no décimo terceiro dia após a semeadura, conforme as prescrições contidas nas Regras para Análises de Sementes (Brasil, 2025).

Emergência das plântulas em campo: conduzida com oito subamostras de 50 sementes para cada tratamento. Na semeadura foram abertos sulcos longitudinais, com 3 cm de profundidade. O teste foi realizado sob condições de campo experimental e a umidade mantida com irrigação localizada, quando necessário. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, obtidas no décimo terceiro dia após a semeadura, conforme as prescrições contidas nas Regras para Análises de Sementes (Brasil, 2025).

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,05$) e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, no mesmo nível de significância, utilizando-se o software para análise estatística Sisvar (Ferreira, 2011).

3. Resultados e Discussão

Mediante a análise de variância, é possível inferir que ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) para todas as variáveis resposta avaliadas no presente experimento (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Resumo da análise de variância, referente à primeira contagem do teste de germinação (G), teste de frio (TF) e envelhecimento acelerado (EA) (UEM, Maringá – PR, 2024).

F.V.	Quadrados médios		
	G	FR	EA
DOSE	188,50*	269,09*	118,48*
VIGOR	1411,13*	1505,63*	2765,82*
DOSE*VIGOR	67,98*	94,84*	121,57*
Erro	21,71	22,82	40,72
C.V. (%)	5,53	5,92	8,79
Média geral	83,74	80,67	71,16

*Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} não-significativo. Fonte: Autores.

Tabela 3. Resumo da análise de variância, referente emergência de plântulas em substrato de areia (EMA) e emergência de plântulas em campo (EMC) (UEM, Maringá – PR, 2024).

F.V.	Quadrados médios	
	EMA	EMC
DOSE	161,63*	240,29*
VIGOR	1891,12*	1740,5*
DOSE*VIGOR	60,26 ^{ns}	84,37*
Erro	48,47	29,34
C.V. (%)	8,15	6,37
Média geral	85,42	84,98

*Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} não-significativo. Fonte: Autores.

Houve efeito significativo para os fatores isolados de dose e vigor para todas as variáveis resposta analisadas. Nas interações, a análise de variância revelou efeito significativo de DOSE*VIGOR em praticamente todas as variáveis, exceto para EMA.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos na interação entre doses da formulação e vigor inicial para a variável germinação (G) de sementes de milho tratadas com produto contendo fósforo, zinco e molibdênio.

Tabela 4. Médias obtidas na interação DOSE e VIGOR para a variável porcentagem de germinação de sementes (G), com diferentes doses da formulação contendo fósforo, zinco e molibdênio, aplicadas via tratamento de sementes, e classificadas em dois níveis de vigor: alto (A) e baixo (B) (UEM, Maringá – PR, 2024).

VIGOR ¹	DOSE (mL 100 kg ⁻¹ de sementes) ¹								
	0	50	100	150	200	250	300	350	400
A	86 Ad	90 Aab	84 Aabc	85 Acb	89 Aa	87 Aabc	88 Abc	88 Adc	87 Acd
B	76 Ba	87 Aa	82 Aa	77 Ba	87 Aa	82 Aa	79 Ba	76 Ba	77 Ba

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelos testes de Tukey e F, respectivamente, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Dentro das doses 0, 150, 300, 350 e 400 mL 100 kg⁻¹, nota-se que as sementes de alto vigor apresentaram melhor desempenho; esses resultados demonstram que sementes de alto vigor apresentam emissão mais rápida e uniforme da raiz primária durante a germinação, o que contribui para o estabelecimento inicial das plântulas e melhora o desenvolvimento das plantas. Essa característica está associada a processos metabólicos mais eficientes que garantem maior taxa de crescimento e maior uniformidade no desenvolvimento inicial das raízes (Gao et al., 2024). Essas evidências corroboram os resultados clássicos de Schuch et al. (1999), reafirmando a importância do vigor na qualidade das sementes e no desempenho das culturas.

Para o nível de vigor alto (A), a melhor dose observada foi a de 200 mL 100 kg⁻¹. Já para sementes de baixo vigor (B), não houve diferença entre as doses aplicadas.

Nota-se que houve um incremento significativo do potencial fisiológico das sementes com a aplicação da formulação contendo fósforo, zinco e molibdênio, indicando a efetividade do produto.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos na interação entre os fatores dose e vigor na porcentagem de plântulas normais no teste de frio (TF) das sementes de milho, com o produto contendo fósforo, zinco e molibdênio.

Tabela 5. Médias obtidas na interação DOSE e VIGOR para a variável porcentagem de plântulas normais no teste de frio (TF), de sementes de milho com diferentes doses da formulação contendo fósforo, zinco e molibdênio, aplicadas via tratamento de sementes, e classificadas em dois níveis de vigor: alto (A) e baixo (B) (UEM, Maringá – PR, 2024).

VIGOR ¹	DOSE (mL 100 kg ⁻¹ de sementes) ¹								
	0	50	100	150	200	250	300	350	400
A	82 Ac	92 Aa	83 Ac	86 Ab	91 Aab	79 Aabc	78 Aabc	78 Aabc	78 Acb
B	72 Bab	84 Ba	71 Bab	75 Bab	80 Ba	77 Ac	76 Aab	76 Aab	75 Aab

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelos testes de Tukey e F, respectivamente, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Dentro das doses de 0, 50, 100, 150 e 200 mL 100 kg⁻¹, as sementes de alto vigor (A) apresentaram os melhores resultados; esse fato pode ser justificado, pois sementes com alto vigor geralmente apresentam maior velocidade nos processos metabólicos e, conseqüentemente, maiores porcentagens de plântulas normais, mesmo em condições de estresse (Marcos Filho, 2015; Minuzzi et al., 2010) como é o caso do teste de frio.

Esses efeitos estão ligados à ação eficaz da enzima catalase, que contribui para a redução do estresse oxidativo nas primeiras fases da germinação, enquanto sementes de baixo vigor acumulam maiores níveis de peróxido de hidrogênio e apresentam danos fisiológicos mais intensos (Freitas et al., 2019).

Para sementes de alto (A) e baixo vigor (B) inicial, os melhores resultados foram observados principalmente na dose de 50 mL 100 kg⁻¹, indicando que a aplicação da formulação potencializou a ocorrência de plântulas normais.

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos na interação entre os fatores e dose e vigor na porcentagem de plântulas normais no teste de envelhecimento acelerado (EA) das sementes de milho tratadas com a formulação contendo fósforo, zinco e molibdênio.

Tabela 6. Médias obtidas na interação DOSE e VIGOR para a variável porcentagem de plântulas normais no teste de envelhecimento acelerado (EA), de sementes de milho com diferentes doses da formulação contendo fósforo, zinco e molibdênio, aplicadas via tratamento de sementes, e classificadas em dois níveis de vigor: alto (A) e baixo (B) (UEM, Maringá – PR, 2024).

VIGOR ¹	DOSE (mL 100 kg ⁻¹ de sementes) ¹								
	0	50	100	150	200	250	300	350	400
A	81 Aa	80 Aab	74 Aab	71 Ab	77 Aab	73 Aab	75 Aab	74 Aab	74 Aab
B	68 Bab	65 Bab	70 Aa	69 Aab	70 Aa	69 Aa	62 Aab	58 Bb	56 Bb

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelos testes de Tukey e F, respectivamente, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Dentro das doses 0, 50, 350 e 400 mL 100 kg⁻¹ obteve-se o melhor desempenho em sementes de alto (A) vigor inicial, conforme já observado em outras variáveis analisadas.

Para as sementes de alto vigor, não houve diferença entre as doses aplicadas, indicando que a utilização da formulação não causa sintomas de fitotoxicidade nas plântulas. Já para sementes de baixo vigor, as melhores doses foram 100 e 200 mL 100 kg⁻¹ de sementes.

O teste de envelhecimento acelerado é considerado um teste de resistência; deste modo, a utilização da formulação foi eficaz na manutenção do potencial germinativo, mesmo quando as sementes são submetidas a situações adversas de alta temperatura e elevada umidade relativa do ar.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os resultados obtidos nos efeitos isolados de dose e vigor para a variável emergência das plântulas em substrato de areia (EMA).

Os dados indicaram que a utilização da formulação, via tratamento de sementes, proporcionou incremento na emergência das plântulas de milho analisadas, em comparação com a ausência do tratamento (0 mL 100 kg⁻¹), em que a melhor dose observada foi de 50 mL 100 kg⁻¹ de sementes.

Tabela 7. Médias obtidas na variável emergência de plântulas em areia com diferentes doses da formulação contendo fósforo, zinco e molibdênio aplicadas via tratamento de sementes (UEM, Maringá – PR, 2024).

DOSE (mL 100 kg ⁻¹)	Emergência (%) ¹
0	82,7 B
50	91,2 A
100	82,2 B
150	83,5 AB
200	88,5 AB
250	87,0 AB
300	84,3 AB
350	83,5 B
400	83,0 B

¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Na Tabela 8 estão apresentadas as médias da variável emergência em substrato de areia (EMA) obtidas no efeito isolado de vigor.

Tabela 8. Médias obtidas na variável emergência de plântulas em areia proveniente de sementes classificadas em dois níveis de vigor: alto (A) e baixo (B) (UEM, Maringá – PR, 2024).

VIGOR	Emergência (%) ¹
Alto	89,2 A
Baixo	81,5 B

¹Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Nota-se que novamente as sementes de alto vigor apresentaram os melhores resultados. Lotes de sementes de milho com alto vigor inicial emergem mais rápido e uniformemente, mesmo quando semeadas em substratos com baixa retenção de água como areia. Em contrapartida, sementes de baixo vigor mostraram atraso na emergência e maior variabilidade no surgimento das plântulas. Este fato ocorre devido a sementes de alto vigor apresentarem melhor desenvolvimento inicial, maior velocidade de emergência e maior capacidade no estabelecimento do estande inicial (Marcos-Filho, 2015). Resultados recentes confirmam essas observações, evidenciando que o vigor das sementes está diretamente relacionado ao sucesso na germinação e emergência, mesmo sob condições adversas, como em substratos arenosos, que simulam estresses hídricos e físicos (Machado et al., 2023).

Na Tabela 9 estão apresentados os resultados obtidos para a variável resposta emergência em campo (EMC) na interação dose e vigor, de sementes de milho tratadas com a formulação contendo fósforo, zinco e molibdênio.

Tabela 9. Médias obtidas na interação DOSE e VIGOR para a variável porcentagem de emergência das plântulas em campo (EMC), de sementes de milho com diferentes doses da formulação contendo fósforo, zinco e molibdênio, aplicadas via tratamento de sementes, e classificadas em dois níveis de vigor: alto (A) e baixo (B) (UEM, Maringá – PR, 2024).

VIGOR ¹	DOSE (mL 100 kg ⁻¹ de sementes) ¹								
	0	50	100	150	200	250	300	350	400
A	83 Ab	94 Aa	85 Ab	88 Aab	94 Aa	94 Aa	87 Aab	88Aab	88 Aab
B	75 Bc	89 Aa	83 Aab	82 Babc	82 Babc	82 Babc	78 Bbc	75 Bc	77 Bbc

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelos testes de Tukey e F, respectivamente, a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Nota-se que dentro das doses 0, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 mL 100 kg⁻¹, as sementes com vigor mais alto (A) apresentaram as melhores porcentagens de plântulas normais no teste de EMC.

Já dentro do alto vigor, as doses 50, 200 e 250 mL 100 kg⁻¹ apresentaram os melhores resultados. Entretanto, para sementes de baixo (B) vigor inicial, o melhor desempenho foi observado na dose 50 mL 100 kg⁻¹, o que indica que a formulação testada foi efetiva em melhorar o desempenho das sementes de milho.

4. Conclusão

Os resultados alcançados no presente ensaio apontaram que os melhores resultados no potencial fisiológico das sementes de milho foram obtidos com o uso da dose de 50 mL 100 kg⁻¹ de sementes da formulação à base de fósforo, zinco e molibdênio, particularmente em sementes de vigor inicial mais alto.

A utilização das diferentes doses da formulação contendo fósforo, zinco e molibdênio propiciou a obtenção de sementes de milho com maior potencial germinativo e maior vigor, sem, no entanto, causar sintomas de fitotoxidez nas plântulas resultantes.

Referências

- Barreto, A. C. & Fernandes, M. F. (2002). Produtividade e absorção de fósforo por plantas de milho em função de doses e modos de aplicação de adubo fosfatado em solo de tabuleiro costeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 26(1), 151–6. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000100015>.
- Brasil. (2025). Regras para Análise de Sementes. Brasília. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/sda-disponibiliza-nova-versao-das-regras-para-analise-de-sementes>.
- Cicero, S. M. & Vieira, R. D. (2020). Teste de frio. Vigor de sementes: conceitos e testes. Tradução . Londrina: Abrates.
- CONAB. (2025). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>.
- Costa Jr., E. A. (2024). Influência do zinco no milho. Atenas. https://www.atenas.edu.br/uniatenas/assets/files/magazines/1/INFLU%C3%AANCIA_DO_ZINCO_NO_MILHO.pdf.
- Ducatti, K. R., Coimbra, R. A. & Nakagawa, J. (2019). Adjustment of initial moisture content and accelerated aging test for supersweet corn (sh2) seeds. *Scientific Electronic Archives*. 12(4), 24–9. <https://scientificelectronicearchives.org/index.php/SEA/article/download/942/pdf/2877>.
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*. 35(6), 1039-1042. <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/abstract/?lang=pt>.
- França-Neto, F. J., Henning, A. A., Krzyzanowski, F. C., Pereira, O. A. P., Lorini, I., Panoff, B., Brzezinski, C. R. & Bergonsi, J. S. (2012). Efeito do tratamento de sementes de soja com micronutrientes e bioestimulantes sobre o desenvolvimento de plântulas. In: Congresso Brasileiro de Soja. Anais... Cuiabá.
- Freitas, A. C. et al. (2019). Resposta antioxidante de sementes de arroz submetidas ao estresse por frio. *Journal of Seed Science*. 41(3), 1-11. <https://www.scielo.br/j/pat/a/wbKq6QywwgrKnqrDfqqvSh/>.

- Gonçalves, R. C. K., Silva, V. R. A., Sobrinho, S. P. & Luz, P. B. (2023). Performance fisiológica de sementes de milho híbrido submetidas a diferentes doses e fontes de molibdênio. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*. 14(2), 184–95. <https://doi.org/10.31072/rcf.v14i2.1317>.
- Gao, Y., Zhao, X., Liu, X., Liu, C., Zhang, K., Zhang, X., Zhou, J., Dong, G., Wang, Y., Huang, J., Yang, Z., Zhou, Y. & Yao, Y. (2024). OsRAV1 regulates seed vigor and salt tolerance during germination in rice. *The Rice Journal*. 17(56), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12284-024-00734-8>.
- Khan, M. A. et al. (2020). Seed priming with micronutrients enhances nutrient use efficiency and crop productivity: A review. *Agronomy*. 10(3), 455. <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/7/1415>.
- Krzyzanowski, F. C., Matera, T. C., França-Neto, J. B. & Henning, F. A. (2025). Teste de envelhecimento acelerado para avaliar o vigor em sementes de soja. Londrina: Embrapa Soja. Circular Técnica 216. 12 p.
- Machado, C. G., Silva, G. Z., Cruz, S. C. S., Anjos, R. C. L., Silva, C. L., Matos, L. F. L. & Smaniotto, A. O. (2023). Germination and vigor of soybean and corn seeds treated with mixed mineral fertilizers. *Plants*. 12(2), art. 338. <https://doi.org/10.3390/plants12020338>.
- Marcos Filho, J. (2015). *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. (2.ed). Londrina: ABRATES.
- Marschner, P. (2022). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. (4.ed). New York: Academic Press.
- Minuzzi, A., Braccini, A. L., Rangel, M. A. S., Scapim, C. A. & Albrecht, L. P. (2010). Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado de Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Sementes*. 32(1), 176185.
- OECD & FAO. (2024). *OECD–FAO Agricultural Outlook 2025–2034*. Rome: OECD Publishing, 2024. <https://doi.org/10.1787/601276cd-en>
- Pereira, A. S. et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [free ebook]. Santa Maria. Editora da UFSM.
- Silva, R. A. et al. (2023). Seed treatment with micronutrients improves early growth and stress tolerance in maize. *Journal of Plant Nutrition*. 46(7), 1053-64. https://www.researchgate.net/publication/343895936_Micronutrient_seed_priming_improves_maize_Zea_mays_early_seedling_growth_in_a_micronutrient_deficient_soil.
- Santos, D. S. et al. (2020). Tecnologias para o manejo nutricional sustentável em sistemas agrícolas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 44, e0200045. <https://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/625/586>.
- Shitsuka, R. et al. (2014). *Matemática fundamental para a tecnologia*. (2.ed.). Editora Érica.
- Taiz, L. et al. (2021). *Plant Physiology and Development*. (7.ed). Sunderland: Sinauer Associates.
- USDA. (2025). Grain and Feed Update – Brazil. United States Department of Agriculture (USDA). <https://apps.fas.usda.gov/export-sales/esrd1.html>.
- Vieira, S. (2021). *Introdução à bioestatística*. Editora GEN/Guanabara Koogan.