

POTENCIAL DO MAGNETO-PRIMING NA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL: ESTUDO DE CASO COM SEMENTES DE RÚCULA

Eric Rocha Santos *

Rodrigo Magno de Aquino Moysés †

RESUMO: O magneto-priming é uma técnica de baixo impacto ambiental com potencial para melhorar o desenvolvimento inicial de plântulas. Este estudo avaliou seus efeitos em sementes de rúcula, com diferentes intensidades de campo magnético e tempos de exposição. Foram realizados experimentos usando ímãs de neodímio com intensidades de 149,37 mT (M_1) e 265,70 mT (M_2). A primeira execução testou magneto-priming isolado por 30 minutos e combinado ao hidro-priming por 8 horas. No segundo teste, apenas magneto-priming em diferentes intervalos de 30, 60 e 120 minutos. As sementes foram cultivadas por 15 dias em ambiente não controlado, com avaliações qualitativas e mensuração da massa fresca e seca das plântulas. Os resultados mostraram que, de forma predominante, os grupos submetidos ao magneto-priming apresentaram características visuais superiores ao controle, além de aumentos de até 37% em massa fresca e 26% em massa seca das plântulas. A associação com o hidro-priming, embora não tenha proporcionado ganhos significativos, não deve ser descartada, uma vez que as limitações observadas podem estar relacionadas à dificuldade de manipulação das sementes hidratadas, e não necessariamente à ineficiência da técnica combinada. Este estudo apresentou o potencial relevante do magneto-priming e a necessidade de ser explorado em protocolos específicos para diferentes culturas.

Palavras-Chave: campo magnético, rúcula, sementes, agricultura sustentável, métodos para melhoria da produtividade.

1 INTRODUÇÃO

A população mundial deverá ultrapassar 10 bilhões de pessoas até o final do século XXI, segundo projeções, o que implicará em um aumento expressivo na demanda por alimentos (CHIRICO et al., 2023).

No entanto, expandir a área agrícola não é uma solução viável, já que essa prática acarreta em maior desmatamento, perda de biodiversidade e intensificação dos efeitos das mudanças climáticas, impactos esses amplamente observados nas últimas décadas (BERA et al., 2023).

* Autor - Aluno do Curso Técnico em Agroecologia, na Etec Conego José Bento - eric.santos113@etec.sp.gov.br.

† Orientador - Professor Coordenador do Curso Técnico em Agroecologia, na Etec Conego José Bento - rodrigo.moyses@etec.sp.gov.br.

Além disso, os sistemas agrícolas contemporâneos enfrentam limites ecológicos e produtivos. São exemplos claros o aumento de áreas com solos degradados, a escassez hídrica e a maior frequência de eventos climáticos extremos, como ondas de calor e secas prolongadas (DIEHL, 2022).

Para enfrentar os desafios relacionados à baixa germinação e ao desenvolvimento inicial das plântulas, o setor agrícola tem recorrido historicamente a diferentes práticas de tratamento de sementes, sendo as mais comuns os métodos químicos e biológicos (SARRAF et al., 2020).

O uso de agentes fungicidas, bactericidas e promotores de crescimento vegetal pode ser eficaz na proteção das sementes contra patógenos e na ativação de processos metabólicos relacionados à germinação (PANDA; MONDAL, 2020).

No entanto, tais métodos geralmente envolvem substâncias de alta toxicidade, de aplicação complexa e custo elevado, além de acarretarem sérios riscos ambientais. Muitos dos produtos utilizados têm potencial contaminante para o solo e os recursos hídricos, além de contribuírem para o surgimento de microrganismos resistentes e para a poluição nas cadeias agroalimentares (BERA et al., 2023).

Embora mais sustentáveis, os processos biológicos demandam maior tempo de execução, necessitando de controle microbiológico rigoroso, muitas vezes apresentando uma baixa estabilidade em condições de campo. Dessa forma, ainda que as técnicas tradicionais de tratamento de sementes ofereçam benefícios, suas limitações em termos de custo, complexidade operacional e impacto ambiental evidenciam a necessidade de alternativas mais seguras e sustentáveis (CHIRICO et al., 2023).

Dentre as alternativas mais sustentáveis ao tratamento químico e biológico de sementes, os métodos físicos vêm se mostrando particularmente promissores. Técnicas como o termo-priming (exposição controlada ao calor), o osmo-priming (hidratação com soluções osmoticamente ativas), o hidro-priming (hidratação simples com água) e o laser-priming (exposição à luz laser de baixa intensidade) vêm sendo estudadas por sua capacidade de melhorar o desempenho germinativo das sementes sem deixar resíduos tóxicos (LAZIM, 2023).

Enquanto técnicas como o osmo-priming podem apresentar limitações em relação à armazenabilidade das sementes tratadas, e métodos com radiação exigem controle técnico rigoroso, o magneto-priming se destaca por sua facilidade de aplicação e custo reduzido. Sendo altamente compatível com os princípios da agricultura sustentável, devido a não gerar nenhum tipo de resíduo com potencial impacto ambiental negativo. (SARI et al., 2023).

O magneto-priming é uma técnica que consiste na exposição de sementes a campos magnéticos estáticos ou pulsados, por períodos controlados. Os campos mag-

néticos interferem em processos biofísicos da membrana celular, aumentando o transporte de íons e a absorção de água, o que favorece a ativação de vias metabólicas relacionadas à germinação (BATTAL; BINGÖL; EREZ, 2023).

Além disso, estudos apontam que o magneto-priming pode atenuar os efeitos de estresses abióticos, como salinidade e déficit hídrico, promovendo maior crescimento de raízes e parte aérea em plântulas de diversas espécies (GUTIERREZ et al., 2024).

Diante da crescente evidência científica que respalda o uso do magneto-priming como uma alternativa promissora e sustentável no tratamento de sementes, o presente estudo propõe aplicar essa técnica em condições experimentais com enfoque prático e acessível.

Especificamente, a investigação dos efeitos da exposição de sementes de microverdes de rúcula (*Eruca sativa*) a campos magnéticos estáticos gerados por ímãs de neodímio, com o objetivo de avaliar possíveis impactos positivos sobre a germinação, o crescimento inicial e a produção de biomassa.

Para tanto, foi estruturado um sistema experimental de baixo custo, com materiais de fácil obtenção, de modo a viabilizar a reprodutibilidade do protocolo em contextos educacionais ou de pequena escala produtiva.

Esta pesquisa visa contribuir para a compreensão prática dos efeitos em hortaliças de ciclo curto ao se aplicar a técnica de magneto-priming, promovendo inovações simples e sustentáveis para a agricultura de base ecológica, tanto urbana quanto familiar.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da exposição de sementes de microverdes de rúcula a um campo magnético estático gerado por ímãs de neodímio sobre sua germinação e desenvolvimento inicial.

1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

De forma específica, busca-se:

- i) Comparar o desempenho das sementes tratadas com o grupo controle não submetido ao campo magnético;
- ii) Avaliar o impacto do magneto-priming sobre o crescimento inicial das plântulas.

2 REVISÃO TEÓRICA

O uso de campos magnéticos no tratamento de sementes tem sido amplamente estudado como alternativa sustentável para melhorar a germinação, o crescimento inicial e a tolerância ao estresse em diversas culturas.

Em uma perspectiva mais ampla, Sarraf et al. (2020) realizaram uma revisão sobre o uso de campos magnéticos em plantas, reunindo evidências de que o magneto-priming pode promover melhor absorção de água, aumento de pigmentos fotossintéticos, crescimento radicular e divisão celular, além de melhorar a resposta das plantas ao estresse oxidativo e biótico. Os autores destacam que os efeitos dependem da intensidade, frequência e duração do campo aplicado, bem como da sensibilidade específica de cada espécie vegetal ao estímulo magnético.

Battal, Bingöl e Erez (2023) demonstrou que campos magnéticos estáticos influenciam positivamente o desenvolvimento inicial do trigo (*Triticum aestivum* L. cv. Besoztaja). A aplicação de 15 mT aumentou a taxa de germinação e o vigor das plântulas, enquanto 15 mT e 22,5 mT elevaram o peso fresco e seco das raízes e parte aérea. No entanto, o comprimento das plântulas e os teores de pigmentos fotossintéticos não foram afetados, sugerindo que o magneto-priming atua principalmente no metabolismo de reservas e divisão celular, sem alterar a fotossíntese inicial. Esses resultados reforçam o potencial dessa técnica como ferramenta sustentável na agricultura.

No trabalho de Abhary e Akhkha (2023), o magneto-priming foi aplicado a sementes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) utilizando ímãs de neodímio de 150, 200 e 250 mT. O objetivo foi verificar os efeitos sobre a tolerância à salinidade. As sementes tratadas apresentaram aumento na taxa de germinação sob estresse salino, além de maior comprimento de plântula e peso fresco em relação ao grupo controle. O estudo também reportou menores níveis de estresse oxidativo nas plântulas tratadas, o que sugere que o magneto-priming pode atuar como um indutor de tolerância fisiológica ao estresse salino.

Zalama e Fathalla (2020) demonstraram que o magneto-priming é uma técnica eficaz para melhorar a germinação e o vigor de sementes de cebola (*Allium cepa* L.). A exposição a campos magnéticos (45 mT) aumentou a velocidade de germinação em 20% e o comprimento das plântulas em 14%, em comparação com métodos convencionais. Esses resultados podem ser atribuídos à modificação na estrutura da água magnetizada, que favorece a absorção de nutrientes e a atividade enzimática durante a germinação. Além disso, o magneto-priming potencializou os efeitos de soluções complementares, como ácido ascórbico (ASA) e sulfato de zinco (ZnSO_4).

Também foram investigados os efeitos do magneto-priming em sementes de

cebola e alface (*Lactuca sativa* L.) por Sarı et al. (2023), realizando o hidro-priming combinado ao magneto-priming com campo magnético de 800 mT durante intervalos de 1, 2, 5 e 10 minutos. Os resultados demonstraram que o tratamento aumentou significativamente o percentual de emergência, o comprimento de raízes e o índice de vigor das plântulas em ambas as espécies. Além disso, houve maior uniformidade no crescimento das plântulas tratadas, o que, segundo os autores, pode favorecer o desempenho agrônômico em campo.

O estudo de Gutierrez et al. (2024) investigou os efeitos do magneto-priming na germinação e no crescimento inicial de plântulas de brócolis (*Brassica oleracea* L.) irrigadas com água residuária, que possui alto teor de sais. Os resultados demonstraram que a irrigação com água residuária reduziu significativamente a germinação e o crescimento das plântulas em comparação com a água destilada, devido ao estresse salino. No entanto, o magneto-priming das sementes atenuou esses efeitos negativos, acelerando a germinação e aumentando a porcentagem máxima de germinação. Além disso, as plântulas provenientes de sementes magnetizadas apresentaram maior comprimento de raízes e parte aérea, bem como maior biomassa fresca.

Na pesquisa conduzida por Lazim (2023), foi avaliado o efeito combinado do magneto-priming e hormônio-priming em sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), estas foram submetidas a campos magnéticos estáticos de 125 mT por 1 e 3 horas. Os autores observaram aumento significativo na taxa de germinação, vigor das plântulas e comprimento de raiz em comparação ao controle. A taxa de germinação atingiu 85% nas sementes tratadas somente com o magneto-priming, contra aproximadamente 72% no grupo controle, e houve melhora na uniformidade e no índice de velocidade de germinação. Esses resultados confirmam o potencial da técnica como promotora de desempenho fisiológico, mesmo em condições ambientais menos favoráveis.

Com base nos resultados apresentados por Joshi-Paneri et al. (2023), foram demonstrados impactos significativos e positivos no desenvolvimento da soja (*Glycine max*) ao aplicar a técnica de magneto-priming. O tratamento pré-semeadura com campos magnéticos estáticos de 150 mT e 200 mT por uma hora promoveu melhorias substanciais em diversos parâmetros. Dentre os principais efeitos observados, destacam-se o aumento do crescimento da parte aérea e do sistema radicular, maior área foliar, maior acúmulo de biomassa e incremento na taxa fotossintética.

O estudo de Faria et al. (2023) investigou os efeitos do magneto-priming, utilizando micro-ondas de 2,45 GHz, na qualidade fisiológica de sementes de soja. Os resultados demonstraram que o tratamento promoveu melhorias significativas em diversos parâmetros fisiológicos, como índices de germinação, comprimento de plântulas, absorção de água, massa fresca e seca, além de aumentar a longevidade das

sementes. A pesquisa também destaca a importância de ajustes nas condições de exposição para garantir a eficácia e segurança do método.

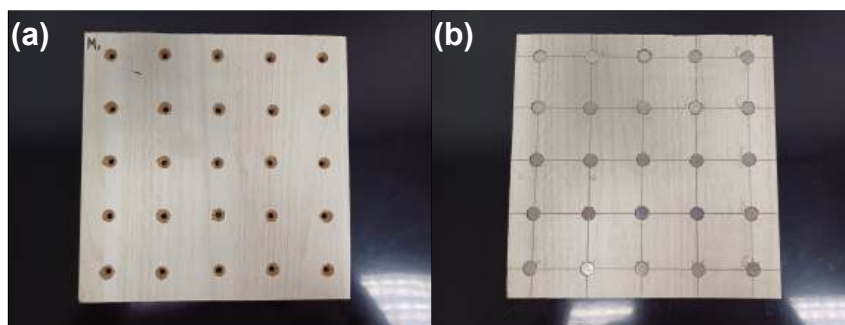
Um ponto relevante destacado em diversos estudos, como os de Diehl (2022) e Chirico et al. (2023), é a ausência de protocolos padronizados para a aplicação do magneto-priming. Fatores como intensidade do campo, tempo de exposição, tipo de magneto e distância da fonte de campo variam amplamente entre os experimentos, o que dificulta a comparação direta de resultados e a replicabilidade dos efeitos. Além disso, os efeitos do magneto-priming se mostram altamente dependentes da espécie vegetal e das condições ambientais. Enquanto algumas espécies respondem positivamente a estímulos moderados, outras requerem campos mais intensos para manifestar alterações significativas.

Diante dessas lacunas, a presente pesquisa busca contribuir com evidências empíricas específicas ao testar a aplicação de ímãs de neodímio em sementes de rúcula. Ao utilizar um sistema de baixo custo e facilmente replicável, este estudo pretende não apenas avaliar os efeitos fisiológicos do magneto-priming, mas também colaborar com a construção de protocolos práticos adaptáveis a pequenas escalas produtivas e educativas.

3 METODOLOGIA

Para a aplicação do magneto-priming, foi construída uma estrutura simples utilizando uma tábua de MDF reaproveitada, a qual foi cortada em dois quadrados com dimensões aproximadas de 20 cm. Cada quadrado recebeu 25 furos equidistantes (4 cm) com diâmetro adequado para acomodação dos ímãs em uma face e, na face oposta, o alojamento das sementes, conforme observado na Figura 1.

Figura 1 – Tábuas perfuradas fabricadas a partir de MDF reutilizado, parte frontal para depósito das sementes **(a)** e parte traseira com os ímãs acoplados **(b)**



Fonte: Do próprio autor, 2025.

Foram utilizados dois tipos de ímãs de neodímio do tipo N35: 25 unidades de $\varnothing 10 \times 1,5 \text{ mm}$ (M_1), com valor nominal de 295,5 mT, e 25 unidades de $\varnothing 10 \times 3 \text{ mm}$

(M_2), com valor nominal de 200,5 mT. Ambos os modelos foram aferidos com o uso de um gaussímetro, exibido na Figura 2a (marca: MeterK, modelo: ZMST-5, precisão: $\pm 2,0\%$ [0-1000 mT]; $\pm 5,0\%$ [1000-2000 mT]), essas informações permitiram compreender melhor a intensidade dos campos aplicados durante o tratamento.

Figura 2 – Equipamentos e insumo utilizados no experimento, gaussímetro (a); semente de rúcula (b); balança semi-analítica (c) e estufa (d)



Fonte: Do próprio autor, 2025.

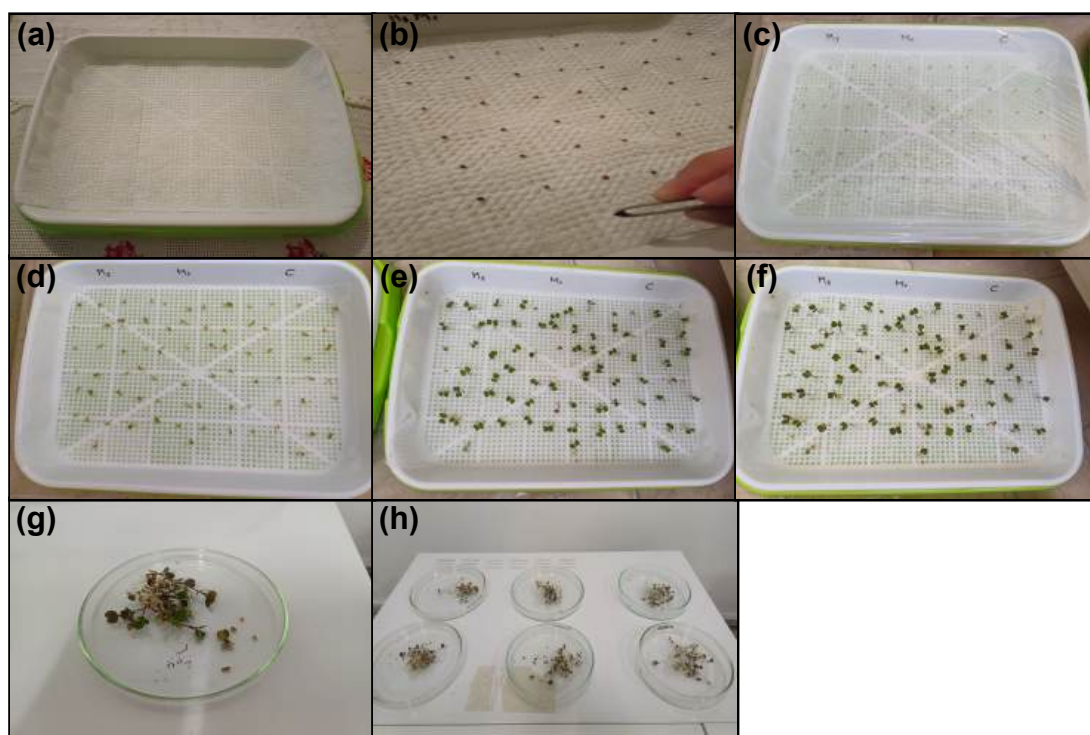
As sementes utilizadas no experimento foram de microverdes de rúcula (*Eruca sativa*), adquiridas comercialmente (marca: Isla; lote: 174857-001; germinação: 93%; pureza: 100%), conforme apresentado na Figura 2b. Todas as sementes estavam dentro do prazo de validade e com aparência física homogênea, sem sinais de dano mecânico ou deterioração visível. A escolha da rúcula se justifica por seu ciclo curto de desenvolvimento.

O primeiro experimento foi dividido em seis grupos experimentais, cada um contendo 25 sementes. O grupo controle (C) não recebeu nenhum tipo de tratamento. Um grupo foi submetido ao magneto-priming com ímãs M_1 , e o outro grupo com ímãs M_2 . Em ambos os casos, o magneto-priming teve duração de 30 minutos. Os grupos submetidos ao hidro-priming permaneceram em embebição em água por 8 horas (H_8).

Após o hidro-priming, foi executado o magneto-priming com ímãs M_1 e M_2 , ambos com duração de 30 minutos. Formando seis grupos de teste distintos: C, M_1 , M_2 , H_8 , H_8M_1 e H_8M_2 .

Além deste protocolo, foi realizado um segundo experimento para investigar exclusivamente os efeitos do magneto-priming com diferentes tempos de exposição. Foram utilizados grupos com 50 sementes cada, testando-se ambos os tipos de ímãs de neodímio (M_1 e M_2), sob três tempos distintos de exposição: 30 minutos (T_{30}), 1 hora (T_{60}) e 2 horas (T_{120}). Foi incluído também um novo grupo controle (C), composto por 50 sementes que não passaram por nenhum tipo de tratamento. Ao todo, este protocolo contou com sete grupos: C, $T_{30}M_1$, $T_{60}M_1$, $T_{120}M_1$, $T_{30}M_2$, $T_{60}M_2$ e $T_{120}M_2$. A exposição foi conduzida com o mesmo sistema e nas mesmas condições do protocolo anterior, respeitando as distâncias e orientações padronizadas em relação ao campo magnético.

Figura 3 – Etapas do processo do experimento iniciando pela preparação da bandeja de germinação (a); disposição das sementes na bandeja (b); cobertura com filme PVC (c); desenvolvimento ao 3º dia (d); desenvolvimento ao 7º dia (e); desenvolvimento ao 14º dia (f); preparo para pesagem da massa fresca (g) e preparo pra pesagem da massa seca (h)



Fonte: Do próprio autor, 2025.

Em ambos os experimentos, foram preparadas bandejas de germinação forradas com pano permeável (Figura 3a) e, em seguida, foram dispostas as sementes de forma espaçada (Figura 3b). A hidratação foi mantida por adição periódica de água à

base da bandeja. As sementes permaneceram cobertas com filme de PVC durante as primeiras 48 horas (Figura 3c), a fim de criar um ambiente com maior retenção de temperatura e umidade, favorecendo o início da germinação. Após esse período, o filme foi retirado e as bandejas foram mantidas por 15 dias em local ventilado com exposição à luz solar (Figuras 3d, 3e e 3f), permitindo o desenvolvimento das plântulas.

Durante esse período, foram realizadas avaliações qualitativas baseadas na observação do comprimento das raízes e do vigor geral das plântulas, incluindo estrutura foliar e uniformidade. Ao final dos 15 dias, procedeu-se à colheita das plântulas para análise quantitativa. As amostras de cada grupo foram pesadas imediatamente para obtenção da massa fresca (Figura 3g), utilizando uma balança semi-analítica exibida na Figura 2c (marca: Ohaus, modelo: AR3130, precisão: 0,001 g). Posteriormente, as plântulas foram secas em estufa (marca: FANEM, modelo: 502), conforme a Figura 2d, a uma temperatura de 50 a 60 °C por 48 horas, até a estabilização do peso. Após a secagem (Figura 3h), foi realizada a pesagem da massa seca de cada grupo. Os dados obtidos permitiram avaliar o impacto da técnica de magneto-priming sob diferentes intensidades e durações, e sua comparação com os controles.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

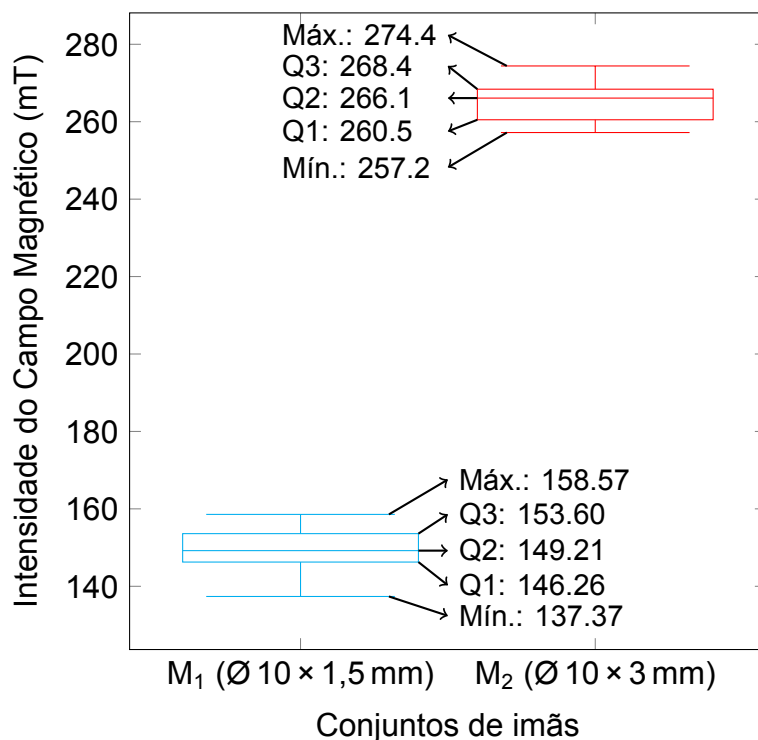
Antes da realização dos experimentos, foi conduzida a medição dos campos magnéticos reais gerados pelos ímãs de neodímio utilizados no magneto-priming, com o objetivo de verificar a intensidade efetiva do campo ao qual as sementes seriam submetidas. As medições foram executadas na região central da face de cada ímã, onde as sementes foram posicionadas durante os tratamentos. Essa escolha permitiu identificar o valor do campo magnético no ponto de exposição.

Os valores obtidos se mostraram substancialmente diferentes dos informados pelo vendedor, o que reforça a importância da aferição prática. Os ímãs M_1 , com valor nominal de 200,5 mT, apresentaram na média valores de apenas $149,37 \pm 5,34$ mT. Já os ímãs M_2 , cujo valor nominal informado era de 295,5 mT, possuíam intensidade média de $265,70 \pm 4,52$ mT. A distribuição dos valores aferidos é evidenciada na Figura 4.

Essa discrepância entre o valor nominal e o campo real dos dois modelos demonstra que os valores de catálogo não refletem necessariamente a exposição real no ponto de contato com a semente. Assim, os resultados obtidos nos experimentos devem ser interpretados à luz desses valores aferidos, e não apenas com base nas especificações do fabricante.

Durante o primeiro experimento, foi realizado o comparativo entre o magneto-priming e sua associação com hidro-priming. No decorrer do acompanhamento do

Figura 4 – Representação gráfica da distribuição das medidas do campo magnético dos ímãs por meio de boxplot



Fonte: Do próprio autor, 2025.

desenvolvimento das plântulas nos primeiros 15 dias, foi possível observar diferenças visuais entre os grupos experimentais em termos de comprimento das raízes, tamanho e vigor das plântulas. De forma geral, os grupos submetidos exclusivamente ao magneto-priming (M₁ e M₂) apresentaram plântulas com raízes mais longas e desenvolvimento vegetativo mais vigoroso quando comparados ao grupo controle (C), cujas plântulas apresentavam menor porte e aspecto mais frágil.

Por outro lado, ao comparar os grupos que receberam hidro-priming isolado (H₈) ou combinado com magneto-priming (H₈M₁ e H₈M₂), as diferenças observadas foram menos consistentes. Embora o grupo H₈M₂ tenha mostrado, em alguns casos, raízes ligeiramente mais longas que o H₈, essa variação não foi sistemática. Em termos de vigor e uniformidade das plântulas, também não se observaram diferenças marcantes entre esses três grupos, indicando que os efeitos do magneto-priming podem ter sido atenuados após o processo de embebição hídrica, possivelmente em função de manipulações delicadas em sementes em estado de alta hidratação. O Quadro 1 resume as observações qualitativas feitas em cada grupo, com base na inspeção visual padronizada.

Essas observações reforçam a hipótese de que o magneto-priming isolado tende a exercer efeito direto e perceptível sobre o crescimento inicial, ao passo que sua apli-

Quadro 1 – Avaliação qualitativa do desenvolvimento de plântulas

Grupo	Comprimento das raízes	Vigor das plântulas	Observações relevantes
C	Curto	Baixo	Estrutura vegetativa reduzida
M ₁	Longo	Elevado	Raízes bem desenvolvidas e plântulas mais robustas
M ₂	Longo	Elevado	Raízes bem desenvolvidas e plântulas mais robustas
H ₈	Médio	Intermediário	Sistema radicular visivelmente superior ao controle
H ₈ M ₁	Médio	Intermediário	Sem ganho visual evidente em relação ao grupo H ₈
H ₈ M ₂	Médio	Intermediário	Sem ganho visual evidente em relação ao grupo H ₈

Fonte: Do próprio autor, 2025.

cação após o hidro-priming exige cuidados adicionais para garantir eficácia. Fatores como a fragilidade das sementes hidratadas, a uniformidade da exposição ao campo magnético e a dificuldade de manipulação com estrutura limitada podem interferir significativamente na resposta fisiológica.

Ao fim dos 15 dias, foram adquiridos os dados de biomassa das plântulas do experimento, conforme exibido na Tabela 1. A massa fresca das plântulas apresentou incremento expressivo nos grupos submetidos exclusivamente ao magneto-priming (M₁ e M₂), com valores de 0,824 g e 0,844 g, respectivamente, superando significativamente o grupo controle (C), que apresentou 0,616 g. Isso representou um ganho de 33,7% e 37,0% em massa fresca, indicando maior atividade fisiológica e acúmulo de biomassa nos grupos tratados com campo magnético.

Tabela 1 – Valores obtidos de massa fresca das plântulas (n = 25) de rúcula e seu ganho percentual em relação ao grupo sem tratamento por magneto-priming

Grupo	Massa (g)	Ganho (%)
C	0,616	–
M ₁	0,824	33,7
M ₂	0,844	37,0
H ₈	0,740	–
H ₈ M ₁	0,727	- 1,8
H ₈ M ₂	0,818	10,5

Fonte: Do próprio autor, 2025.

Nos grupos submetidos ao hidro-priming (H₈) e aos tratamentos combinados com magneto-priming (H₈M₁ e H₈M₂), os resultados foram mais discretos. O grupo

H₈ apresentou massa fresca de 0,740 g, enquanto H₈M₁ e H₈M₂ atingiram 0,727 g e 0,818 g, respectivamente. Embora o grupo H₈M₂ tenha apresentado valor próximo aos grupos com magneto-priming isolado, as diferenças em relação ao H₈ foram menores e inconclusivas, possivelmente devido à fragilidade e maior sensibilidade das sementes após a embebição, aliada à ausência de infraestrutura adequada para manipulação precisa nesse estado fisiológico.

A análise da massa seca de acordo com o apresentado na Tabela 2 revelou padrão semelhante. O grupo controle apresentou 0,079 g, enquanto os grupos M₁ e M₂ apresentaram, respectivamente, 0,100 g e 0,096 g, reafirmando o efeito positivo do magneto-priming na conversão de matéria fresca em biomassa seca. Já os grupos H₈M₁ (0,085 g) e H₈M₂ (0,078 g) apresentaram resultados inferiores ao grupo H₈ (0,091 g), com tendência de redução na massa seca nos tratamentos combinados, o que pode estar relacionado a perdas fisiológicas durante o manuseio pós-embebição.

Tabela 2 – Valores obtidos de massa seca das plântulas (n = 25) de rúcula e seu ganho percentual em relação ao grupo sem tratamento por magneto-priming

Grupo	Massa (g)	Ganho (%)
C	0,079	–
M ₁	0,100	26,6
M ₂	0,096	21,5
H ₈	0,091	–
H ₈ M ₁	0,085	- 6,6
H ₈ M ₂	0,078	- 14,3

Fonte: Do próprio autor, 2025.

Esses resultados indicam que o magneto-priming isolado contribuiu significativamente para o crescimento e acúmulo de biomassa, enquanto os tratamentos combinados com hidro-priming apresentaram resultados mais instáveis, possivelmente devido à maior sensibilidade das sementes hidratadas durante a manipulação.

No segundo experimento, foram avaliados os efeitos do magneto-priming isolado com diferentes tempos de exposição (30 minutos, 1 hora e 2 horas) em ambos os tipos de ímã, com 50 sementes por grupo. As observações novamente revelaram que os grupos tratados com magneto-priming apresentaram maior vigor e desenvolvimento do que o controle, conforme explicitado no Quadro 2. As plântulas dos grupos T₃₀M₁ e T₃₀M₂, em especial, apresentaram raízes mais longas e crescimento mais uniforme. Já nos grupos T₆₀ e T₁₂₀, embora ainda superiores ao controle, as diferenças foram mais sutis e sem padrão consistente entre os tratamentos.

As diferenças mais perceptíveis foram observadas nos grupos submetidos ao tratamento de 30 minutos (T₃₀M₁ e T₃₀M₂), que apresentaram raízes visivelmente mais

Quadro 2 – Avaliação qualitativa do desenvolvimento de plântulas

Grupo	Comprimento das raízes	Vigor das plântulas	Observações relevantes
C	Curto	Baixo	Estrutura vegetativa reduzida
T ₃₀ M ₁	Longo	Elevado	Raízes bem desenvolvidas e plântulas mais robustas
T ₃₀ M ₂	Longo	Elevado	Raízes bem desenvolvidas e plântulas mais robustas
T ₆₀ M ₁	Médio	Intermediário a elevado	Resultado semelhante ao T ₃₀ M ₁ , sistema radicular reduzido e com discreta menor robustez
T ₆₀ M ₂	Médio	Intermediário a elevado	Resultado semelhante ao T ₃₀ M ₂ , sistema radicular reduzido e com discreta menor robustez
T ₁₂₀ M ₁	Médio	Intermediário	Raízes levemente mais longas, mas sem impacto visível no vigor geral
T ₁₂₀ M ₂	Médio	Intermediário	Raízes levemente mais longas, mas sem impacto visível no vigor geral

Fonte: Do próprio autor, 2025.

longas e plântulas mais robustas, indicando uma resposta fisiológica inicial mais eficiente. Nos grupos submetidos a 60 e 120 minutos de exposição, as diferenças em relação ao controle ainda foram presentes, mas menos evidentes. As variações observadas nesses tempos mais longos não se mantiveram de forma uniforme entre os tratamentos, o que reforça a hipótese de que exposições prolongadas não garantem benefícios proporcionais ao tempo aplicado.

Do ponto de vista do vigor, não foram identificadas diferenças visuais significativas entre os diferentes tempos de exposição ou entre as intensidades de campo, o que sugere que, além de existirem limiares mínimos para indução de resposta, o acréscimo de tempo ou intensidade pode não trazer ganhos adicionais visíveis.

A ausência de correlação linear entre tempo de exposição, intensidade de campo e resposta fisiológica indica que o magneto-priming exige ajuste fino para cada espécie, uma conclusão consistente com revisões presentes na literatura, que destacam a influência da sensibilidade específica de cada cultura e das condições ambientais.

Os resultados de massa fresca apresentados na Tabela 3 revelaram que todos os grupos, com exceção do T₁₂₀M₂, apresentaram aumento em relação ao controle, sendo os destaques os grupos T₃₀M₁ (1,714 g) e T₁₂₀M₁ (1,692 g), ambos utilizando o ímã de menor intensidade. O grupo controle apresentou valor de 1,464 g, enquanto os demais grupos variaram de 1,432 g a 1,714 g.

A análise comparativa entre os tratamentos indica que, de forma consistente,

Tabela 3 – Valores obtidos de massa fresca das plântulas (n = 50) de rúcula e seu ganho percentual em relação ao grupo sem tratamento por magneto-priming

Grupo	Massa (g)	Ganho (%)
C	1,464	–
T ₃₀ M ₁	1,714	17,1
T ₃₀ M ₂	1,537	5,0
T ₆₀ M ₁	1,539	5,1
T ₆₀ M ₂	1,479	1,0
T ₁₂₀ M ₁	1,692	15,6
T ₁₂₀ M ₂	1,432	- 2,2

Fonte: Do próprio autor, 2025.

os grupos com ímãs M₁ apresentaram maiores massas frescas do que seus pares M₂ sob o mesmo tempo de exposição. Essa observação é relevante, pois contraria a suposição de que campos magnéticos mais intensos necessariamente promovem maior estímulo fisiológico, sugerindo que o efeito do magneto-priming pode estar relacionado a faixas específicas de intensidade, acima ou abaixo das quais o benefício pode ser reduzido ou até neutralizado.

Outro aspecto relevante é que não se observou uma relação direta entre o tempo de exposição e o ganho em biomassa. Grupos com 30 minutos de exposição (especialmente T₃₀M₁) apresentaram desempenho superior a grupos com 1 ou 2 horas. Isso sugere que o tempo ótimo de exposição pode ser específico da cultura, e que protocolos generalizados não garantem eficiência máxima. A ausência de uma tendência clara reforça a importância de estudos adicionais que considerem variações genotípicas e sensibilidade fisiológica das sementes.

Em relação à massa seca, observou-se tendência semelhante, de acordo com o que está apresentado na Tabela 4. O grupo controle apresentou massa de 0,163 g, enquanto os demais grupos variaram de 0,166 g a 0,187 g. Os maiores valores foram novamente encontrados nos grupos T₃₀M₁ (0,187 g) e T₁₂₀M₁ (0,184 g), seguidos de perto por T₆₀M₁ (0,179 g) e T₃₀M₂ (0,178 g). O grupo T₁₂₀M₂, que apresentou o pior desempenho em massa fresca, também apresentou a menor massa seca entre os grupos tratados (0,166 g).

A consistência na superioridade dos grupos com ímãs M₁ reforça a hipótese de que maior intensidade do campo magnético não está associada automaticamente a maiores ganhos. Além disso, a dispersão dos dados ao longo dos tempos de exposição sugere que há uma complexa interação entre tempo e intensidade, cuja resposta não segue um padrão linear. Isso aponta para a necessidade de desenvolvimento de protocolos específicos por espécie, considerando sua fisiologia, sensibilidade e varia-

Tabela 4 – Valores obtidos de massa seca das plântulas (n = 50) de rúcula e seu ganho percentual em relação ao grupo sem tratamento por magneto-priming

Grupo	Massa (g)	Ganho (%)
C	0,163	–
T ₃₀ M ₁	0,187	14,7
T ₃₀ M ₂	0,178	9,2
T ₆₀ M ₁	0,179	9,8
T ₆₀ M ₂	0,178	9,2
T ₁₂₀ M ₁	0,184	12,9
T ₁₂₀ M ₂	0,166	1,8

Fonte: Do próprio autor, 2025.

bilidade genética.

Os resultados observados neste trabalho também podem ser interpretados à luz dos mecanismos fisiológicos sugeridos por diversos autores em pesquisas anteriores. Estudos como os avaliados no trabalho de Sarraf et al. (2020) apontam que a exposição de sementes a campos magnéticos pode modular a distribuição de cargas na membrana plasmática, alterando o potencial elétrico da célula e, consequentemente, influenciando a atividade de canais iônicos e aquaporinas. Esse efeito facilita o transporte de íons essenciais e aumenta a permeabilidade ao fluxo de água, o que pode explicar a maior velocidade de hidratação e expansão celular observada nos grupos tratados com magneto-priming.

Além disso, a ativação de vias metabólicas associadas à germinação, como indicado no estudo de Battal, Bingöl e Erez (2023), pode estar relacionada aos efeitos observados nas fases iniciais de crescimento. Os autores relatam a regulação positiva de genes envolvidos em resposta ao estresse oxidativo e metabolismo energético, o que contribui para maior tolerância fisiológica e eficiência metabólica. Tal comportamento foi compatível com os aumentos de biomassa detectados nos grupos M₁ e M₂, sobretudo nas massas secas, sugerindo uma mobilização mais eficiente das reservas energéticas durante os primeiros dias após a germinação.

Embora este trabalho não tenha incluído análises bioquímicas ou moleculares, os padrões de desenvolvimento observados são coerentes com os efeitos celulares descritos na literatura. A resposta não linear à intensidade do campo magnético e ao tempo de exposição também reforça a hipótese de que os efeitos do magneto-priming são mediados por mecanismos sensíveis à estabilidade de membranas e homeostase celular, e que variações além de certos limiares podem não ser assimiladas positivamente pelas sementes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do magneto-priming sobre a qualidade fisiológica de sementes de rúcula (*Eruca sativa*), considerando tanto tratamentos isolados quanto combinados com hidro-priming, além de testar diferentes tempos de exposição e intensidades de campo magnético. De forma geral, os resultados confirmam que o magneto-priming pode ser uma técnica eficiente para promover ganhos no desempenho inicial das sementes, especialmente quando aplicado de forma isolada.

Tanto nas avaliações qualitativas quanto nos dados quantitativos de massa fresca e massa seca, observou-se uma resposta positiva consistente nos grupos tratados com magneto-priming isolado. Os melhores resultados foram obtidos com tempos de exposição de 30 minutos, o que reforça a hipótese de que existem janelas fisiológicas ideais de estímulo, específicas para cada espécie. Já os tratamentos combinados com hidro-priming apresentaram efeitos mais instáveis, possivelmente devido à maior sensibilidade das sementes hidratadas e à ausência de equipamentos adequados para manipulação nesse estado fisiológico.

Ao confrontar os resultados com os mecanismos descritos na literatura, os achados sugerem coerência com hipóteses como a ativação de canais iônicos e aquaporinas, e a modulação de vias metabólicas associadas ao início da germinação, conforme relatado em estudos recentes. No entanto, por limitações estruturais e instrumentais, este estudo não incluiu análises moleculares ou bioquímicas, o que impossibilita a validação direta desses mecanismos no contexto experimental realizado.

Entre as principais limitações, destaca-se a ausência de ambiente controlado para germinação, o que pode ter influenciado a uniformidade dos resultados. Além disso, a exposição ao campo magnético foi feita com estrutura artesanal, ainda que funcional, o que pode gerar variações na distribuição do campo sobre as sementes. A impossibilidade de monitorar continuamente variáveis ambientais como temperatura, umidade e luminosidade limita a reprodutibilidade plena dos experimentos.

Apesar dessas limitações, o presente trabalho demonstra com clareza que é possível desenvolver pesquisa experimental de base fisiológica com recursos limitados, utilizando materiais de baixo custo e técnicas acessíveis. A simplicidade do aparato construído e a viabilidade prática dos tratamentos aplicados indicam que o magneto-priming pode ser explorado como alternativa viável em contextos de agricultura familiar, ensino técnico e extensão rural, sobretudo em iniciativas voltadas para microverdes e hortaliças de ciclo curto.

Como perspectivas para estudos futuros, sugere-se a realização de experimentos com controle rigoroso de variáveis ambientais, ampliação do número de repetições

e uso de instrumentação de precisão para controle da intensidade e homogeneidade dos campos magnéticos. A inclusão de análises bioquímicas e moleculares também é recomendada para elucidar os mecanismos de ação envolvidos e validar os efeitos observados com maior profundidade.

Em suma, os resultados obtidos, mesmo com as restrições operacionais enfrentadas, contribuem significativamente para o avanço do conhecimento sobre o magneto-priming em sementes de hortaliças, validam sua aplicabilidade em condições simplificadas e abrem caminhos para novas investigações adaptadas a diferentes espécies e contextos produtivos.

6 REFERÊNCIAS

- ABHARY, M. K.; AKHKHA, A. Effects of neodymium magneto-priming on seed germination and salinity tolerance in tomato. **Bioelectromagnetics**, Wiley Online Library, v. 44, n. 1-2, p. 47–56, 2023.
- BATTAL, A.; BINGÖL, Ö.; EREZ, M. The effects of magneto priming on bread wheat germination and seedling development. **ICOFAAS 2023**, p. 76, 2023.
- BERA, K. et al. Magneto-priming: A novel technique towards improved seed germinability and stress responses: From basics to contemporary advancements. In: **Biology and Biotechnology of Environmental Stress Tolerance in Plants**. [S.l.]: Apple Academic Press, 2023. p. 133–166.
- CHIRICO, G. et al. Design and evaluation of an applicator for magnetopriming treatments. **IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology**, IEEE, v. 7, n. 3, p. 245–250, 2023.
- DIEHL, K. A. The effects of weak static magnetopriming on seed germination and plant growth. **The Expedition**, v. 13, 2022.
- FARIA, R. Q. de et al. The effect of magneto-priming on the physiological quality of soybean seeds. **Plants**, MDPI, v. 12, n. 7, p. 1477, 2023.
- GUTIERREZ, J. et al. Magneto-priming of seeds decreases the saline effect of wastewater irrigation on broccoli germination and seedling growth. **Seeds**, MDPI, v. 3, n. 1, p. 169–178, 2024.
- JOSHI-PANERI, J. et al. Enhancing the yield potential of soybean after magneto-priming: detailed study on its relation to underlying physiological processes. **Seeds**, MDPI, v. 2, n. 1, p. 60–84, 2023.
- LAZIM, S. K. Effects of hormonal and magneto-priming on seed germination traits of sorghum (*sorghum bicolor* L. moench). **Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences**, v. 11, n. 3, p. 385–389, 2023.
- PANDA, D.; MONDAL, S. Seed enhancement for sustainable agriculture: an overview of recent trends. **Plant Arch**, v. 20, n. 1, p. 2320–2332, 2020.

SARI, M. E. et al. Magnetopriming enhance germination and seedling growth parameters of onion and lettuce seeds. **International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences**, Gültekin ÖZDEMİR, v. 7, n. 3, p. 468–475, 2023.

SARRAF, M. et al. Magnetic field (mf) applications in plants: An overview. **Plants**, MDPI, v. 9, n. 9, p. 1139, 2020.

ZALAMA, M.; FATHALLA, F. Enhancement onion seed germination and seedling vigor traits through magneto-priming techniques. **Journal of Plant Production**, Mansoura University, Faculty of Agriculture, v. 11, n. 12, p. 1529–1537, 2020.