FITOTOXICIDADE UTILIZANDO IMIDACLOPRIDO EM *TRITICUM AESTIVUM* E *LACTUCA SATIVA* COMO ESPÉCIES BIOINDICADORAS

Rodrigo Alves Catein, Victor Ventura de Souza, Lucas Rodrigues Fraga, Tatiana da Silva Souza

Universidade Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre, Alto Universitário, s/n, Bairro Guararema – 29500-000 – Alegre-ES, Brasil, rodrigo.catein@edu.ufes.br, victor.ventura@ufpe.br, lucas.r.fraga@edu.ufes.br, tatianas.souza@hotmail.com.

Resumo
O imidacloprido é um inseticida neonicotinoide amplamente utilizado na agricultura, cuja presença pode promover a exposição de organismos vegetais não alvo. Este estudo avaliou seus efeitos sobre a germinação e o desenvolvimento inicial de *Triticum aestivum* (trigo), uma monocotiledônea e *Lactuca sativa* (alface), uma eudicotiledônea. Foram avaliadas as concentrações de 0, 0,22, 0,44 e 0,88 g/L, sendo 0,44 g/L correspondente à recomendação de uso para a cultura do feijão, utilizando três réplicas de 15 sementes por tratamento. A germinação não apresentou diferenças significativas em nenhuma das espécies. Em *T. aestivum*, o crescimento radicular não foi significativamente alterado, enquanto 0,88 g/L reduziu a parte aérea. Em *L. sativa*, 0,44 e 0,88 g/L reduziram significativamente o crescimento radicular e da parte aérea. Assim, o imidacloprido afetou principalmente o desenvolvimento pós-germinativo, com respostas distintas entre as espécies, sendo *L. sativa* responsiva em maior número de parâmetros nas maiores concentrações.
Palavras-chave: Neonicotinoides. Bioensaios vegetais. Ecotoxicologia. Desenvolvimento pós-germinativo. Organismos não alvo.

Área do Conhecimento: Ciências biológicas - Botânica.

Introdução

Os pesticidas desempenham papel relevante na produção agrícola por contribuírem para o controle de organismos capazes de comprometer o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Entretanto, sua utilização intensiva também pode ocasionar impactos ambientais e promover a exposição de organismos não alvo, incluindo espécies vegetais (Daraban et al., 2023). Entre os grupos amplamente empregados na agricultura encontram-se os inseticidas neonicotinoides, que atuam principalmente como agonistas dos receptores nicotínicos de acetilcolina dos insetos, interferindo na transmissão nervosa dos organismos-alvo (Tomizawa et al., 2003). Entre os representantes dessa classe destaca-se o imidacloprido, utilizado por diferentes formas de aplicação, incluindo tratamento de sementes, aplicação foliar e aplicação no solo (EFSA, 2019). No Brasil, dados oficiais demonstram ampla comercialização desse ingrediente ativo, evidenciando sua importância no cenário agrícola nacional (IBAMA, 2022).

Apesar de sua relevância agronômica, a presença de pesticidas em ambientes agrícolas reforça a necessidade de investigar possíveis efeitos sobre organismos não alvo, uma vez que os impactos associados aos pesticidas sintéticos podem atingir diferentes componentes dos ecossistemas, incluindo plantas (Daraban et al., 2023; Barone et al., 2025). Em sistemas vegetais, estudos demonstram que o imidacloprido pode estar associado a alterações no crescimento e em parâmetros celulares e citogenéticos (Rodríguez et al., 2015; Bianchi et al., 2016; Morais et al., 2019; Fioresi et al., 2020).

Bioensaios vegetais constituem ferramentas importantes para a avaliação de possíveis efeitos fitotóxicos. Parâmetros como germinação, crescimento radicular e desenvolvimento da parte aérea são utilizados em protocolos internacionais destinados à investigação dos efeitos de substâncias químicas sobre plantas (USEPA, 1996; OECD, 2006). Entretanto, diferentes espécies e etapas do desenvolvimento podem apresentar sensibilidades distintas (Souza et al., 2026). Abordagens envolvendo representantes de diferentes grupos botânicos podem contribuir para identificar padrões de resposta específicos. Souza et al. (2026), ao avaliarem espécies monocotiledôneas e

eudicotiledôneas expostas a pesticidas, demonstraram que os efeitos sobre a germinação e o desenvolvimento inicial variaram de acordo com a espécie e o composto avaliado.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar os padrões de resposta de *Triticum aestivum*, uma monocotiledônea, e *Lactuca sativa*, uma eudicotiledônea, à exposição a diferentes concentrações de imidacloprido, considerando a germinação, o crescimento radicular e o desenvolvimento da parte aérea.

Metodologia

Foi utilizada a formulação comercial Warrant® 700 WG, contendo 70% (m/m) do ingrediente ativo imidacloprido e 30% (m/m) de ingredientes inertes. As concentrações, expressas em função do ingrediente ativo imidacloprido, foram selecionadas com base na recomendação de uso em campo para a cultura do feijão, de 0,44 g/L. Seguindo as diretrizes de ensaios ecotoxicológicos, foram testadas também a metade (0,22 g/L) e o dobro (0,88 g/L) da concentração de campo, a fim de avaliar a margem de segurança e o potencial fitotóxico do produto em cenários de subdosagem e superdosagem.

Para cada tratamento foram utilizadas três placas de Petri, consideradas réplicas experimentais, contendo 15 sementes cada. As sementes foram distribuídas sobre papel-filtro umedecido com 3 mL da respectiva solução. As placas foram seladas com parafilme e mantidas no escuro à temperatura de 24 °C.

A porcentagem de germinação foi determinada pela relação entre o número de sementes germinadas e o número total de sementes presentes em cada placa, multiplicada por 100. Em *T. aestivum* (monocotiledônea) e *L. sativa* (eudicotiledônea), o comprimento radicular foi avaliado após 72 horas, enquanto o comprimento da parte aérea foi determinado após 96 horas de exposição. Para cada placa foi determinada a média dos indivíduos avaliados, sendo as médias das três placas consideradas réplicas experimentais. Os resultados foram expressos como média ± desvio-padrão. As análises estatísticas foram realizadas no GraphPad Prism, adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Para cada espécie, os parâmetros avaliados foram comparados entre os tratamentos com imidacloprido e o respectivo grupo controle por meio de análise de variância, seguida do teste de Dunnett. As análises foram conduzidas separadamente para *T. aestivum* e *L. sativa*, não sendo realizada comparação estatística direta entre as duas espécies.

Resultados

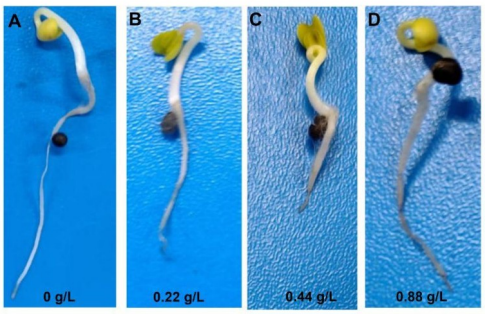
Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na porcentagem de germinação de *T. aestivum* entre os tratamentos com imidacloprido e o grupo controle (Tabela 1). O crescimento radicular também não apresentou diferenças significativas. O comprimento médio foi de 17,47 ± 6,75 mm no controle e 11,35 ± 2,74 mm em 0,88 g/L, com valores intermediários de 19,33 ± 2,26 e 20,05 ± 7,83 mm nas concentrações de 0,22 e 0,44 g/L, respectivamente ($p > 0,05$). Para a parte aérea, entretanto, a concentração de 0,88 g/L promoveu redução significativa em relação ao controle pelo teste de Dunnett ($p = 0,0169$). O comprimento médio passou de 8,07 ± 1,74 mm no controle para 2,52 ± 2,40 mm na maior concentração, correspondendo a uma redução aproximada de 68,8%. As concentrações de 0,22 e 0,44 g/L não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Os resultados de *T. aestivum* estão apresentados na Tabela 1, e o aspecto das plântulas expostas às diferentes concentrações de imidacloprido está apresentado na Figura 1.

Tabela 1 - Germinação e desenvolvimento inicial de *Triticum aestivum* exposto a diferentes concentrações de imidacloprido.

Imidacloprido (g/L)	Germinação (%)	Raiz – 72 h (mm)	Parte aérea – 96 h (mm)
0	100,00 ± 0,00	17,47 ± 6,75	8,07 ± 1,74
0,22	100,00 ± 0,00	19,33 ± 2,26	7,69 ± 0,73
0,44	100,00 ± 0,00	20,05 ± 7,83	6,36 ± 1,03
0,88	95,55 ± 3,85	11,35 ± 2,74	2,52 ± 2,40*

Valores expressos como média ± desvio-padrão. *Diferença significativa em relação ao controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).
Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 1 - Efeito de diferentes concentrações de imidacloprido sobre o desenvolvimento inicial de *Triticum aestivum*. Aspecto das plântulas expostas a (A) 0; (B) 0,22; (C) 0,44; e (D) 0,88 g/L.



Fonte: elaborado pelos autores.

Em *L. sativa*, a germinação também permaneceu elevada em todas as condições experimentais. O controle apresentou média de 97,78 ± 3,85%, enquanto os tratamentos de 0,22; 0,44 e 0,88 g/L apresentaram, respectivamente, 93,33 ± 6,67%, 100,00 ± 0,00% e 88,89 ± 7,70%. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos e o controle ($p > 0,05$).

Diferentemente do observado em *T. aestivum*, o crescimento radicular de *L. sativa* foi significativamente reduzido nas maiores concentrações. O comprimento médio passou de 14,44 ± 0,52 mm no controle para 8,52 ± 1,93 mm em 0,44 g/L e 3,94 ± 1,79 mm em 0,88 g/L, sendo ambas as concentrações significativamente diferentes do controle ($p < 0,05$). Na maior concentração, a redução do crescimento radicular foi de aproximadamente 72,7%.

A parte aérea de *L. sativa* apresentou resposta semelhante. O comprimento médio foi de 9,22 ± 2,37 mm no controle, 6,00 ± 0,59 mm em 0,22 g/L, 5,64 ± 1,15 mm em 0,44 g/L e 4,80 ± 0,30 mm em 0,88 g/L. As concentrações de 0,44 e 0,88 g/L apresentaram valores significativamente inferiores ao controle ($p < 0,05$). Na maior concentração, a redução foi de aproximadamente 47,9%. Os resultados de *L. sativa* estão apresentados na Tabela 2.

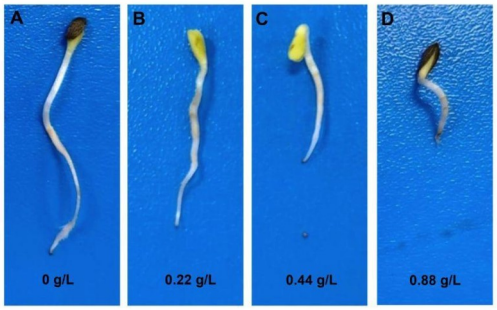
Tabela 2 - Germinação e desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa* exposta a diferentes concentrações de imidacloprido.

Imidacloprido (g/L)	Germinação (%)	Raiz – 72 h (mm)	Parte aérea – 96 h (mm)
0	97,78 ± 3,85	14,44 ± 0,52	9,22 ± 2,37
0,22	93,33 ± 6,67	11,14 ± 0,99	6,00 ± 0,59
0,44	100,00 ± 0,00	8,52 ± 1,93*	5,64 ± 1,15*
0,88	88,89 ± 7,70	3,94 ± 1,79*	4,80 ± 0,30*

Valores expressos como média ± desvio-padrão. *Diferença significativa em relação ao controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$).

A Figura 2 apresenta o aspecto das plântulas e os resultados dos parâmetros de crescimento de *L. sativa*. Tanto o sistema radicular quanto a parte aérea apresentaram redução significativa nas concentrações de 0,44 e 0,88 g/L.

Figura 2 - Efeito de diferentes concentrações de imidacloprido sobre o desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa*. Aspecto das plântulas expostas a (A) 0; (B) 0,22; (C) 0,44; e (D) 0,88 g/L.



Fonte: elaborado pelos autores.

Discussão

A exposição ao imidacloprido resultou em padrões distintos de resposta entre *T. aestivum* e *L. sativa*. A germinação permaneceu elevada e não apresentou diferença estatisticamente significativa em nenhuma das espécies, enquanto os parâmetros relacionados ao crescimento pós-germinativo foram mais responsivos. Esse resultado demonstra que a manutenção do processo germinativo não necessariamente representa ausência de efeito sobre o desenvolvimento posterior das plântulas.

A avaliação conjunta de diferentes parâmetros é relevante em bioensaios vegetais, uma vez que germinação, crescimento radicular e desenvolvimento da parte aérea podem responder de maneira distinta a uma mesma substância (Bragança et al., 2018; Barone et al., 2025). A USEPA (1996) e a OECD (2006) incluem variáveis relacionadas à germinação e ao crescimento inicial em protocolos destinados à avaliação dos efeitos de substâncias químicas sobre plantas. Daraban et al. (2023) também destacam a importância da investigação dos efeitos de pesticidas sobre organismos não alvo diante dos potenciais impactos ambientais associados à utilização desses compostos.

Uma das principais diferenças observadas entre as espécies ocorreu no sistema radicular. Em *L. sativa*, 0,44 e 0,88 g/L promoveram reduções significativas do comprimento das raízes, enquanto em *T. aestivum* nenhuma concentração apresentou diferença estatisticamente significativa. Dessa forma, o sistema radicular das duas espécies apresentou padrões distintos de resposta às mesmas concentrações de imidacloprido nas condições experimentais avaliadas.

Estudos com outros modelos vegetais também demonstram que tecidos radiculares podem responder à exposição ao imidacloprido. Em *L. sativa*, foram observadas alterações no crescimento radicular e no desenvolvimento inicial após exposição ao inseticida (Barone et al., 2025). Rodríguez et al. (2015), Bianchi et al. (2016) e Fioresi et al. (2020), utilizando principalmente *Allium cepa*, registraram respostas relacionadas ao crescimento e a parâmetros celulares ou citogenéticos. Morais et al. (2019) também demonstraram a sensibilidade de *Tradescantia pallida* à exposição a inseticidas. Embora esses trabalhos utilizem espécies, concentrações e parâmetros diferentes, reforçam a importância de organismos vegetais na avaliação de pesticidas.

A ocorrência de respostas distintas entre espécies vegetais é também observada por Souza et al. (2026), que avaliaram a fitotoxicidade de pesticidas utilizando duas espécies monocotiledôneas e duas eudicotiledôneas. Os autores identificaram padrões de resposta dependentes tanto do organismo vegetal quanto do composto utilizado e discutiram que diferenças relacionadas à arquitetura radicular, absorção, translocação e capacidade metabólica podem contribuir para respostas espécie-específicas. No entanto, esses mecanismos não foram avaliados diretamente no presente trabalho, não sendo possível atribuir à resposta diferencial de *T. aestivum* e *L. sativa* a uma característica estrutural ou fisiológica específica.

A parte aérea foi significativamente afetada em ambas as espécies, porém com padrões distintos. Além disso, *a L. sativa* apresentou resposta mais ampla, com efeitos sobre o crescimento radicular e da parte aérea, enquanto o T. aestivum foi afetado apenas na parte aérea. Portanto, os resultados indicam padrões distintos de resposta, não permitindo classificar uma espécie como globalmente mais

sensível que a outra. Essa interpretação é consistente com Souza et al. (2026), que demonstraram que a resposta de monocotiledôneas e eudicotiledôneas varia conforme o pesticida avaliado.

A divergência nos padrões de resposta entre *T. aestivum* (monocotiledônea) e *L. sativa* (eudicotiledônea) pode ser atribuída a diferenças anatômicas, fisiológicas e metabólicas intrínsecas a esses grupos vegetais (Siffert et al., 2024). Inicialmente, a dinâmica de utilização das reservas seminais desempenha um papel crucial na tolerância ao estresse químico. *T. aestivum* possui um endosperma volumoso que fornece energia e nutrientes abundantes nas fases iniciais do desenvolvimento, atuando como um tampão fisiológico que reduz a dependência imediata da absorção externa e protege o sistema radicular incipiente. Em contraste, *L. sativa* possui reservas cotiledonares mais restritas, tornando suas plântulas rapidamente dependentes da absorção de água e nutrientes do ambiente, o que aumenta a vulnerabilidade de suas raízes à exposição direta ao xenobiótico. Além disso, a arquitetura radicular fasciculada das gramíneas difere substancialmente do sistema pivotante das eudicotiledôneas, alterando a área de superfície de contato e a dinâmica de absorção do inseticida (Mehrabanjoubani et al., 2023).

Outro fator determinante é a alta sistemicidade do imidacloprido, que é rapidamente absorvido pelas raízes e translocado via xilema para a parte aérea. Esse acúmulo foliar explica por que o crescimento da parte aérea foi o parâmetro afetado em comum em ambas as espécies. Por fim, a maior tolerância de *T. aestivum* às concentrações intermediárias pode estar associada a uma capacidade de destoxificação mais eficiente. Gramíneas frequentemente apresentam sistemas enzimáticos mais robustos, como citocromos P450 e glutationa S-transferases, que facilitam a metabolização e transformação de compostos químicos (Wang et al., 2023), permitindo que a espécie suporte o estresse até o limiar de 0,88 g/L, enquanto *L. sativa* demonstrou suscetibilidade radicular e foliar a partir de 0,44 g/L.

Conclusão

Nas condições experimentais avaliadas, o imidacloprido não alterou significativamente a germinação, mas afetou o desenvolvimento pós-germinativo de forma distinta entre as espécies. *L. sativa* apresentou redução do crescimento radicular e da parte aérea a partir de 0,44 g/L, enquanto *T. aestivum* apresentou redução significativa apenas da parte aérea na concentração de 0,88 g/L. Esses resultados evidenciam respostas espécie-específicas e reforçam a relevância da inclusão de diferentes modelos vegetais em bioensaios de fitotoxicidade, uma vez que o uso de uma única espécie pode limitar a caracterização dos efeitos do pesticida. Como foi avaliado apenas um representante de cada grupo botânico, os resultados não permitem generalizações amplas sobre monocotiledôneas e eudicotiledôneas, mas reforçam a importância de abordagens multiespécies e multiparamétricas em avaliações ecotoxicológicas.

Referências

BARONE, L. da S. F.; TRUJILLO, F. A.; SOUZA, T. da S. Toxicity of imidacloprid to soil organisms: biological responses in plants, earthworms, and millipedes. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, v. 60, n. 8, p. 352-366, 2025. DOI: 10.1080/03601234.2025.2580837.

BIANCHI, J.; FERNANDES, T. C. C.; MARIN-MORALES, M. A. Induction of mitotic and chromosomal abnormalities on *Allium cepa* cells by pesticides imidacloprid and sulfentrazone and the mixture of them. **Chemosphere**, v. 144, p. 475-483, 2016. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.09.021.

BRAGANÇA, I.; LEMOS, P. C.; BARROS, P.; DELERUE-MATOS, C.; DOMINGUES, V. F. Phytotoxicity of pyrethroid pesticides and its metabolite towards *Cucumis sativus*. **Science of the Total Environmen**t, v. 619-620, p. 685-691, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.164.

DARABAN, G. M.; HLIHOR, R.-M.; SUTEU, D. Pesticides vs. biopesticides: from pest management to toxicity and impacts on the environment and human health. **Toxics**, v. 11, n. 12, 983, 2023. DOI: 10.3390/toxics11120983. Disponível em: https://doi.org/10.3390/toxics11120983. Acesso em: 21 ago. 2026.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA) et al. Review of the existing maximum residue levels for imidacloprid according to Article 12 of Regulation (EC) No 396/2005. **EFSA Journal**, v. 17, n. 1, e05570, 2019. DOI: 10.2903/j.efsa.2019.5570.

FIORESI, V. S.; VIEIRA, B. C. R.; CAMPOS, J. M. S.; SOUZA, T. S. Cytogenotoxic activity of the pesticides imidacloprid and iprodione on *Allium cepa* root meristem. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 28066-28076, 2020. DOI: 10.1007/s11356-020-09201-5.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos: 2022**. Brasília, DF: IBAMA, 2022. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos. Acesso em: 20 ago. 2026.

MEHRABANJOUBANI, P. et al. Different response to excess iron and zinc in roots of monocot and dicot plants treated by silicon. **Preprint**, 2023. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3136928/v1. Disponível em: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3136928/v1. Acesso em: 24 ago. 2026.

MORAIS, C. R. et al. Evaluation of the genotoxicity of neurotoxic insecticides using the micronucleus test in *Tradescantia pallida*. **Chemosphere**, v. 227, p. 371-380, 2019. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.04.073. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.073. Acesso em: 21 ago. 2026.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Test No. 208: Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and Seedling Growth Test**. Paris: OECD Publishing, 2006.

RODRÍGUEZ, Y. A. et al. *Allium cepa* and *Tradescantia pallida* bioassays to evaluate effects of the insecticide imidacloprid. **Chemosphere**, v. 120, p. 438-442, 2015. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.08.022.

SIFFERT, A.; MCLAUGHLIN, S. A.; SASSE, J. Distinct metabolite profiles in tissues and exudates of a monocot and a dicot shaped by the environment. **Preprint**, 2024. DOI: 10.1101/2024.08.30.610448. Disponível em: https://doi.org/10.1101/2024.08.30.610448. Acesso em: 24 ago. 2026.

SOUZA, V. V. de et al. Comparative cytogenotoxicity and physiological stress endpoints of a *Trichoderma asperellum*-based biopesticide versus mancozeb and abamectin in plant bioassays. **Environmental Pollution**, v. 406, 128600, 2026. DOI: 10.1016/j.envpol.2026.128600. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2026.128600. Acesso em: 21 ago. 2026.

TOMIZAWA, M. et al. The neonicotinoid electronegative pharmacophore plays the crucial role in the high affinity and selectivity for the *Drosophila* nicotinic receptor: an anomaly for the nicotinoid cation-π interaction model. **Biochemistry**, v. 42, n. 25, p. 7819-7827, 2003. DOI: 10.1021/bi0300130.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Seed germination/root elongation toxicity test: OPPTS 850.4200**. Ecological Effects Test Guidelines. Washington, DC: USEPA, 1996.

WANG, G. et al. Novel insights into uptake, translocation, and transformation mechanisms of 2, 2′, 4, 4′-tetrabrominated diphenyl ether (BDE-47) in wheat (*Triticum aestivum* L.): implication by compound-specific stable isotope and transcriptome analysis. **Environmental Science & Technology**, v. 57, p. 15266-15276, 2023. DOI: 10.1021/acs.est.3c04898. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acs.est.3c04898. Acesso em: 24 ago. 2026.