

EFEITOS FITOTÓXICOS DE NOVOS ÉSTERES DERIVADOS DO CARVACROL E TIMOL SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE *L. sativa*

Isabelly da Silva Izidio¹, Loren Cristina Vasconcelos¹, Mylena Gonçalves Raymundo¹, Jéssika Santos de Oliveira¹, Larissa Carolina Lopes de Jesus¹, Jorge Luiz Pereira², Milene Miranda Praça Fontes².

¹Universidade Federal Do Espírito Santo/Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde/ Departamento de Biologia/Laboratório de Citogenética, Alto Universitário, S/N, Guararema – 295000-000 – Alegre -ES, Brasil, sisabelly010@gmail.com, loren-vasconcelos@hotmail.com, mylenagr16@gmail.com, jessikaoliveira664@gmail.com, larissacarolinaplopes@gmail.com, milenemiranda@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Viçosa/Laboratório de Química de produtos naturais, Av. Peter Henry Rolfs, S/N - Campus Universitário, 36570-900, Viçosa – MG, Brasil, jorge.pereira@ufv.br.

Resumo

Os herbicidas são amplamente utilizados para o controle de plantas daninhas, porém o uso indiscriminado tem ocasionado resistência dessas plantas e impactos ambientais, estimulando a busca por alternativas mais seguras. Fenóis naturais como carvacrol e timol apresentam potencial fitotóxico e podem originar ésteres semissintéticos com propriedades herbicidas. Este trabalho objetivou avaliar a fitotoxicidade de novos ésteres derivados de carvacrol (EC) e timol (ET) em *Lactuca sativa* L. Sementes foram expostas a concentrações de 0,1875; 0,375; 0,750; 1,50 e 3 mmol L⁻¹, avaliando-se germinação, índice de velocidade de germinação (IVG) e crescimento radicular e da parte aérea. O éster derivado do carvacrol reduziu significativamente a germinação e o IVG, com inibição total a partir de 0,75 mmol L⁻¹, enquanto o éster derivado do timol apresentou efeito dependente da concentração, inibindo totalmente o crescimento em 1,5 mmol L⁻¹. Conclui-se que os ésteres testados apresentam potencial como bioherbicidas alternativos, podendo contribuir para o controle de plantas daninhas e redução do uso de herbicidas sintéticos.

Palavras-chave: Fitotoxicidade. Bioherbicidas. Ésteres do timol. Ésteres do carvacrol.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas – Biologia Geral

Introdução

O ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) e o ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético (MCPA) foram os primeiros herbicidas auxínicos a serem empregados na agricultura. Em 1942, Zimmerman e Hitchcock mostraram que certos ácidos fenoxiacéticos clorados, como o 2,4-D, eram mais ativos do que o hormônio natural ácido indolilacético (AIA) e não eram rapidamente degradados na planta.

Consequentemente, o 2,4-D foi aplicado externamente, produzindo um crescimento anormal e resultando na morte da planta. Devido à seletividade dessa classe de herbicidas, seu uso revolucionou a agricultura, tornando-se uma das principais formas de controle de plantas daninhas de folha larga.

No entanto, o uso indevido e indiscriminado ao longo dos anos causou sérios problemas, como o surgimento de plantas daninhas resistentes aos herbicidas comerciais (ADEGAS et al., 2022).

Neste contexto, há uma grande demanda por novos compostos com mecanismos de ação distintos, alta seletividade e menor impacto ambiental (ARANITI et al., 2020). Uma classe que tem atraído considerável interesse de pesquisa são os compostos de origem natural, assim como seus derivados semissintéticos. Entre eles, destacam-se os compostos fenólicos, como o carvacrol e o timol, encontrados em óleos essenciais de plantas como *Lippia sidoides* e *Origanum vulgare*, que podem apresentar atividade fitotóxica (ALVES et al., 2018).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Para avaliar a fitotoxicidade desses compostos, os bioensaios vegetais são amplamente utilizados. A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das espécies mais empregadas como planta modelo nesses testes. Essa eudicotiledônea, pertencente à família Asteraceae, é valorizada por seu pequeno número cromossômico, ciclo de vida curto, baixo custo operacional e alta sensibilidade, o que favorece seu uso em estudos de toxicidade ambiental e fitotoxicidade (PINHEIRO et al., 2015; SILVEIRA et al., 2017).

Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar a atividade fitotóxica de novos ésteres derivados dos fenóis naturais carvacrol e timol, obtidos em reações catalisadas por ácidos de Lewis, utilizando a *L. sativa* como planta modelo, com foco no desenvolvimento inicial das plântulas.

Metodologia

As sementes de *L. sativa* (variedade Grandes Lagos Americanas), foram adquiridas em lojas especializadas de Alegre - ES. A espécie foi escolhida como modelo vegetal por sua reconhecida sensibilidade a compostos bioativos, sendo amplamente utilizada em ensaios de fitotoxicidade por sua rápida germinação e resposta fisiológica bem caracterizada.

Os ésteres utilizados no trabalho, foram adquiridos em parceria com o laboratório de Química Orgânica da Universidade Federal de Viçosa (UFV). As soluções-teste dos ésteres foram preparadas em cinco concentrações: 3; 1,5; 0,75; 0,375 e 0,1875 mmol L⁻¹. Como controle negativo, utilizou-se o solvente base das soluções (água destilada e Tween 0,05%), enquanto o controle positivo foi representado pelo herbicida 2,4-D. Cada tratamento foi aplicado em cinco placas de Petri, contendo 25 sementes cada. As placas foram organizadas em câmara de germinação tipo BOD, sob temperatura constante de 25 ± 2 °C, fotoperíodo de 12 horas e umidade controlada. A distribuição das placas seguiu o princípio da casualização, com identificação por cores para evitar viés experimental.

As variáveis analisadas foram: porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento da raiz e comprimento da parte aérea. As medições foram realizadas com auxílio do paquímetro digital, conforme protocolos previamente estabelecidos pelo grupo de pesquisa (PINHEIRO et al., 2024; ARAGÃO et al., 2015; ALVES et al., 2018). O delineamento experimental adotado seguiu os princípios propostos por Ronald A. Fisher, com repetição, casualização e controle local, garantindo robustez estatística e confiabilidade dos dados.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos foram comparadas com os controles pelo teste de Dunnett, ao nível de 5% de significância, por ser o método mais indicado para esse tipo de comparação. As análises estatísticas foram realizadas nos softwares GENES (CRUZ, 2013) e R (R Core Team, 2025), que também foram utilizados para a construção dos gráficos e visualizações dos dados.

Resultados

A germinação e o IVG das sementes de *L. sativa* foram impactados negativamente de forma expressiva pelos novos ésteres derivados do carvacrol (EC) e do timol (ET) (Figura 1). Todas as concentrações de ET e EC causaram redução dessas variáveis em relação aos controles negativos (água e solvente). Todas as concentrações de EC provocaram reduções equivalentes às observadas com o herbicida 2,4-D, chegando a 100% de inibição nas concentrações de 0,75, 1,5 e 3 mmol L⁻¹. Em relação ao ET, as concentrações de 0,75, 1,5 e 3 mmol L⁻¹ também foram similares ao 2,4-D e responsáveis pelas maiores reduções. A concentração de 1,5 mmol L⁻¹ de ET inibiu completamente a germinação e o IVG de *L. sativa*.

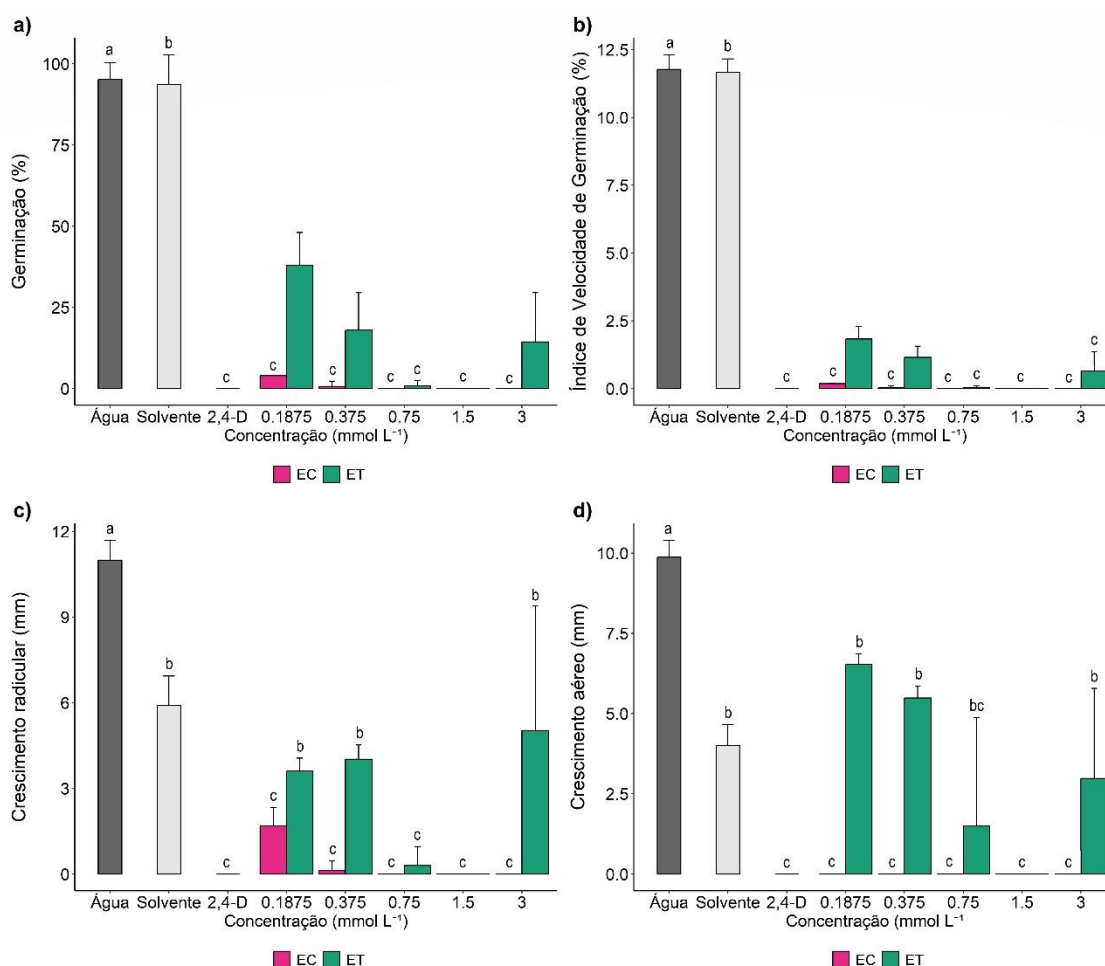
O crescimento radicular e aéreo também foi influenciado negativamente por EC e ET (Figura 1). Todas as concentrações de EC reduziram o comprimento da raiz e da parte aérea em relação aos controles negativos, sendo essa redução equivalente à observada com o 2,4-D. As concentrações de 0,75, 1,5 e 3 mmol L⁻¹ impediram completamente o desenvolvimento da raiz de *L. sativa*. Quanto ao crescimento da parte aérea, o EC foi capaz de inibir 100% do desenvolvimento em todas as concentrações.

Em relação ao ET, as concentrações de 0,1875, 0,375 e 3 mmol L⁻¹, embora tenham causado reduções no crescimento da raiz e da parte aérea em relação ao controle água, foram estatisticamente iguais ao controle solvente, indicando uma possível toxicidade do solvente utilizado nas diluições dos

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

ésteres. Já as concentrações de 0,75 e 1,5 mmol L⁻¹ exibiram as maiores reduções no crescimento da raiz e da parte aérea, apresentando efeito semelhante ao 2,4-D. A concentração de 1,5 mmol L⁻¹ de ET causou inibição completa do crescimento de ambas as variáveis.

Figura 1 - Efeito dos ésteres derivados de carvacrol (EC) e timol (ET) sobre a germinação de sementes, índice de velocidade de germinação e crescimento radicular e aéreo de *L. sativa*



Barras acompanhadas pela letra “a”, “b” e “c” são estatisticamente iguais a água, solvente e ao 2,4-D, respectivamente, de acordo com o teste de Dunnett ($p < 0,05$). Fonte: A autora (2025).

Discussão

Os resultados obtidos evidenciam o expressivo potencial fitotóxico da molécula EC, comparável ao herbicida sintético 2,4-D, ao promover a inibição do crescimento radicular e reduzir significativamente a taxa e a velocidade de germinação das sementes de *L. sativa*.

Segundo Freitas et al. (2016), a redução da germinação pode estar relacionada ao contato inicial das substâncias com a raiz, afetando processos como absorção de nutrientes, alongamento e divisão celular. O IVG é considerado um parâmetro-chave na avaliação da germinação, pois alguns compostos alelopáticos não impedem a germinação final, mas causam atraso significativo nesse índice (COSTA et al., 2017). A inibição da germinação e do crescimento das plântulas observada neste estudo indica ação fitotóxica dos compostos, possivelmente por interferência na respiração celular e na fotossíntese (SANTOS et al., 2017; CÂNDIDO et al., 2021).

Pinheiro (2023) demonstrou que ésteres semissintéticos derivados do carvacrol, mesmo em baixas concentrações (0,1875 mmol L⁻¹), já reduzem o IVG e a germinação de *L. sativa*, enquanto

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

concentrações mais elevadas ($\geq 0,75 \text{ mmol L}^{-1}$) causam inibição total. Esse efeito pode estar relacionado às propriedades químicas do carvacrol, reconhecido por sua atividade alelopática e genotóxica (ALVES, 2017).

O ET também apresentou efeito inibitório sobre o crescimento radicular e aéreo, especialmente em concentrações mais altas, embora menos pronunciado que o EC. Estudos com timol e seus derivados confirmam essa ação sobre *L. sativa* e outras espécies (ALVES et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2023), sugerindo que o ET pode representar uma alternativa menos agressiva ao 2,4-D em aplicações específicas.

Conclusão

Os ésteres derivados de carvacrol (EC) e timol (ET) demonstraram efeito fitotóxico significativo sobre *L. sativa*, com redução expressiva da germinação, do índice de velocidade de germinação (IVG) e do crescimento radicular e da parte aérea. O EC apresentou maior potência inibitória em comparação ao ET, com inibição total observada nas concentrações mais elevadas.

Esses resultados reforçam o potencial dessas moléculas como bioherbicidas alternativos aos herbicidas sintéticos convencionais, contribuindo para estratégias de manejo de plantas daninhas com menor impacto ambiental e risco à saúde humana e animal.

Referências

ADEGAS, F. S. et al. Glyphosate-resistant (GR) soybean and corn in Brazil: past, present, and future. **Advances in Weed Science**, v. 40, p. 1-12, 2022.

ALVES, T. A. et al. Toxicity of thymol, carvacrol and their respective phenoxyacetic acids in *Lactuca sativa* and *Sorghum bicolor*. **Industrial Crops and Products**, v. 114, p. 59-67, 2018.

ALVES, T. de A. Prospecção da toxicidade de fenóis naturais e de seus respectivos derivados ácidos fenoxiacéticos em bioensaios vegetais. 2017. [Trabalho acadêmico não publicado].

ARAGÃO, F. B. et al. Phytotoxic and cytotoxicity of Eucalyptus essential oil on lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Allelopathy Journal**, v. 35, n. 2, p. 259-272, 2015.

ARANITI, F. et al. Benzofuran-2-acetic esters as a new class of natural-like herbicides. **Pest Management Science**, v. 76, p. 395-404, 2020.

CÂNDIDO, A. C. S. et al. Chemical composition and phytotoxicity of essential oils of *Croton doctoris* S. Moore (Euphorbiaceae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, e231957, 2021.

COSTA, A. V. et al. Synthesis of novel glycerol-derived 1,2,3-triazoles and evaluation of their fungicide, phytotoxic and cytotoxic activities. **Molecules**, v. 22, n. 10, p. 1666, 2017.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, p. 271-276, 2013.

DE OLIVEIRA ROBERTO, C. E. et al. Phytogenotoxicity of thymol and semisynthetic thymoxyacetic acid in pre/post emergence of model plants and weeds. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 13, p. 38955-38969, 2023.

FREITAS, A. S. et al. Effect of SPL (Spent Pot Liner) and its main components on root growth, mitotic activity and phosphorylation of Histone H3 in *Lactuca sativa* L. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 124, p. 426-434, 2016.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

PINHEIRO, P. F. et al. Phytotoxicity and cytotoxicity of essential oil from leaves of *Plectranthus amboinicus*, carvacrol, and thymol in plant bioassays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 41, p. 8981-8990, 2015.

PINHEIRO, P. F. et al. Synthesis and phytocytogenotoxic activity of N-phenyl-2phenoxyacetamides derived from thymol. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 72, n. 9, p. 4610-4621, 2024.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 13 jul. 2025.

SANTOS, E. S.; VASCONCELOS, L. C.; FONTES, M. M. P. Efeito do óleo essencial de cultivar de *Psidium guajava* L. sobre a germinação e crescimento de alface e sorgo. In: ANAIS DA 30ª SEMANA ACADÊMICA DO CURSO DE AGRONOMIA DO CCAE/UFES-SEAGRO, 2017.

SILVEIRA, G. L. et al. Toxic effects of environmental pollutants: Comparative investigation using *Allium cepa* L. and *Lactuca sativa* L. **Chemosphere**, v. 178, p. 359-367, 2017.

ZIMMERMÁN, P. W.; HITCHCOCK, A. E. Substituted phenoxy and benzoic acid growth substances and the relation of structure to physiological activity. **Contributions. Boyce Thompson Institute for Plant Research**, v. 12, p. 321-343, 1942.

Agradecimentos

À UNIVAP, UFES, UFV, FAPES, CNPq, CAPES e ao LABCITO (Laboratório de Citogenética e Cultura de Tecidos vegetais).