

O POTENCIAL HERBICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL DE CITRONELA DE JAVA

Gabriela Mathiazi de Almeida, Tércio da Silva de Souza.

Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)/ Campus Vitória, Avenida Vitória, 1729, Jucutuquara - 29040-780 - Vitória-ES, Brasil, gmathiazidealmeida@gmail.com, tssouza@ifes.edu.br.

Resumo

O trabalho avaliou o potencial fitotóxico e os mecanismos bioquímicos de ação do óleo essencial de citronela de Java (*Cymbopogon winterianus*) sobre sementes de alface (*Lactuca sativa*) e cebola (*Allium cepa*). Na análise cromatográfica do óleo essencial de citronela (OE-Cit), foram identificados 18 compostos, com predominância de monoterpenos oxigenados (37,48%) e sesquiterpenos oxigenados (47,48%). Esses compostos estão associados à indução de estresse oxidativo, conferindo potencial fitotóxico ao OE-Cit. A análise Probit revelou maior sensibilidade da alface comparado a cebola, de acordo com os valores de CL_{50} e CL_{90} obtidos. A avaliação bioquímica demonstrou que o OE-Cit provocou alterações significativas no metabolismo enzimático antioxidante. Em alface, houve aumento de catalase (CAT) e de ascorbato peroxidase (APX), mas inibição de peroxidase (POD) e de polifenol oxidase (PPO), comprometendo mecanismos de defesa. Já em cebola, CAT e APX também aumentaram, enquanto a PPO foi estimulada, sugerindo maior tolerância ao estresse oxidativo. Esses resultados confirmam o potencial como bioherbicida no manejo de plantas daninhas.

Palavras-chave: bio-herbicida. concentração letal. estresse oxidativo.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra - Química.

Introdução

A agricultura constitui um dos principais pilares da economia brasileira, sustentada pelo uso de tecnologias que aumentam a eficiência produtiva, dentre os quais se destacam os herbicidas, fundamentais para o controle de plantas daninhas (Procópio *et al.*, 2024). Entretanto, o uso intensivo de herbicidas sintéticos tem acarretado sérios impactos ambientais, como contaminação do solo e da água, acúmulo de resíduos tóxicos e o fortalecimento da resistência em espécies invasoras (Dutra *et al.*, 2020). De acordo com (Parven *et al.*, 2025) com até 2025, foram reportados 534 casos únicos de resistência (espécie x mecanismo de ação), envolvendo 273 espécies resistentes a 168 herbicidas que atuam sobre 21 alvos moleculares, distribuídos em 102 culturas agrícolas em 75. Nesse cenário, a busca por compostos naturais com novos mecanismos de ação surge como alternativa promissora para o manejo sustentável.

Óleos essenciais (OEs), metabólitos secundários de plantas aromáticas, destacam-se como candidatos a bio-herbicidas devido à sua biodegradabilidade, baixa toxicidade ambiental e diversidade química (Silva e Da, 2025). Constituídos majoritariamente por terpenos, terpenoides e fenóis, os OEs podem afetar múltiplos alvos celulares, incluindo membranas, enzimas, metabolismo energético e material genético, induzindo estresse oxidativo e apoptose (Alhantoobi *et al.*, 2025). Essa multiplicidade reforça seu potencial para o desenvolvimento de bio-herbicidas (Feng *et al.*, 2022).

Entre os OEs com propriedades bioativas, o de citronela de Java (*Cymbopogon winterianus*) destaca-se pelo uso tradicional como repelente e agente aromático, além de atividade antimicrobiana, antifúngica, antioxidante e anti-inflamatória (Caballero-Gallardo *et al.*, 2023). Estudos apontam ainda seu efeito fitotóxico e alelopático, interferindo na germinação e no crescimento de diferentes espécies vegetais (Miranda *et al.*, 2015). Tais propriedades sugerem seu potencial no manejo de plantas daninhas. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito fitotóxico e os mecanismos bioquímicos de ação do óleo essencial comercial de *C. winterianus*.

Metodologia

O óleo essencial de citronela (OE-Cit) utilizado no projeto foi adquirido da Farmax S.A. Este foi armazenado sob-refrigeração e protegidos da luz. A densidade do OE foi determinada por meio do método direto de medição proposto por De Jesus e Palma (2008), com as devidas adaptações experimentais. A análise sensorial do OE-Cit foi realizada por avaliação olfativa e visual, considerando cor, transparência e características aromáticas.

As caracterizações qualitativas e semiquantitativas do óleo essencial (OE) foram realizadas por cromatografia gasosa acoplada a detector de ionização de chama (GC-FID, modelo Shimadzu GC-2010 Plus) e por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS, modelo Shimadzu GC-MS-2010). As análises foram realizadas com uma coluna capilar de sílica fundida e utilizaram N₂ como gás de arraste. A temperatura do forno foi programada, iniciando a 40°C e aumentando gradativamente até 220°C. A identificação dos componentes do óleo essencial foi realizada por comparação dos espectros de massa com bibliotecas espectrais, além do cálculo dos índices de retenção (De Souza *et al.*, 2017). O percentual relativo de cada composto foi calculado com base na área integral dos picos, utilizando o método de Simulação de Fatores de Resposta Relativa, e foram considerados compostos majoritários aqueles com área relativa acima de 1% (Tissot *et al.*, 2012).

Para a avaliação inicial do fitotóxico, emulsões foram preparadas conforme a metodologia de Hazrati *et al.* (2017), com adaptações, utilizando 80% de água destilada, 10% (m v⁻¹) de OE-Cit e 10% (m v⁻¹) de Tween 80, com agitação ultrassônica, seguido de diluições delineadas a partir de modelo probabilístico PROBIT (De Carvalho *et al.*, 2017). As concentrações teste de OE-Cit foram: 40, 159, 632, 2520, 10040 e 40000 mg L⁻¹. Sementes de alface (*Lactuca sativa*) e cebola (*Allium cepa*) foram expostas aos diferentes tratamentos durante 168 horas, em condições controladas de temperatura e luminosidade com três repetições contendo 10 sementes (n=10 para alface e n=10 para cebola) e o controle utilizando apenas água destilada.

Na avaliação da citotoxicidade as sementes tratadas anteriormente foram avaliadas quanto à alteração comparativa da atividade enzimática (catalase - CAT, peroxidase - POD, ascorbato peroxidase - APX e polifenoloxidase - PPO) entre o controle e o tratamento na concentração letal 90% (CL90), sendo essa a concentração do OE-Cit necessária para provocar um efeito inibitório de 90% da população-teste, de acordo com o método descrito por Pouresmaeil *et al.* (2020), com adaptações. Os resultados foram analisados estatisticamente, com significância estabelecida em p<0,05, utilizando o software R para correlações e regressões entre as variáveis.

Resultados

A análise cromatográfica do óleo permitiu a identificação de 18 compostos (Tabela 1), com predominância de monoterpenos oxigenados (37,48%) e sesquiterpenos oxigenados (47,48%). Os principais constituintes foram nerol (18,47%), elemol (14,97%), α -cadinol (10,94%), β -citronelal (10,60%) e cubenol (9,86%).

Tabela 1 - Análise cromatográfica do óleo essencial de citronela.

Pico	TR (min)	IR Cal	IR Tab	Componente	Identificação	Área Relativa (%)	Área Ajustada (%)
1	12.427	1027	1028	Limoneno	IR and MS	1.36	1.04
2	18.323	1155	1154	β -citronelal	IR and MS	10.60	9.21
3	21.845	1232	1231	β -Citronelol	IR and MS	3.60	3.07
4	23.083	1259	1254	Nerol	IR and MS	18.47	16.05
5	27.334	1356	1356	Acetato de citrioneliol	IR and MS	1.20	1.13
6	28.650	1386	1380	Eugenol	IR and MS	1.45	1.37
7	28.824	1390	1381	Acetato de nerila	IR and MS	2.16	2.07
8	32.451	1479	1479	Germacreno D	IR and MS	4.73	3.55
9	33.414	1502	1400	β -elemeno	IR and MS	3.41	2.56
10	34.210	1523	1523	δ -cadineno	IR and MS	3.29	2.47
11	35.257	1550	1550	Elemol	IR and MS	14.97	12.26
12	36.185	1574	1511	γ -Muuroleno	IR and MS	2.24	1.68
13	38.326	1631	1625	Guaiol	IR and MS	3.00	2.45

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

14	38.733	1642	1642	τ -Cadinol	IR and MS	5.11	4.18
15	38.993	1649	1620	δ -Cadinol	IR and MS	2.47	2.02
16	39.228	1655	1655	α -Cadinol	IR and MS	10.94	8.96
17	39.703	1668	1651	Cubenol	IR and MS	9.86	8.07
18	41.697	1724	1728	Farnesol	IR and MS	1.13	0.92
Monoterpeno hidrocarboneto						1.36	1,04
Monoterpeno oxigenado						37,48	32,9
Sesquiterpeno hidrocarboneto						13,67	10,26
Sesquiterpeno oxigenado						47,48	38,86
Total						100,00	83,06

TR (Tempo de retenção – minutos); Área Ajustada % (área relativa corrigida pelo RRF); IR_{cal} (Índice de Retenção Calculado); IR_{tab} (Índice de Retenção tabelado); IR (índice de retenção) e MS (Espectrometria das massas).

A estimação da CL50 e CL90 do OE-Cit nas plantas modelo foi feita com base na modelagem de regressão Probit. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Concentração resposta (CL50 e CL90) da fitotoxicidade do OE-Cit sobre sementes de alface e cebola.

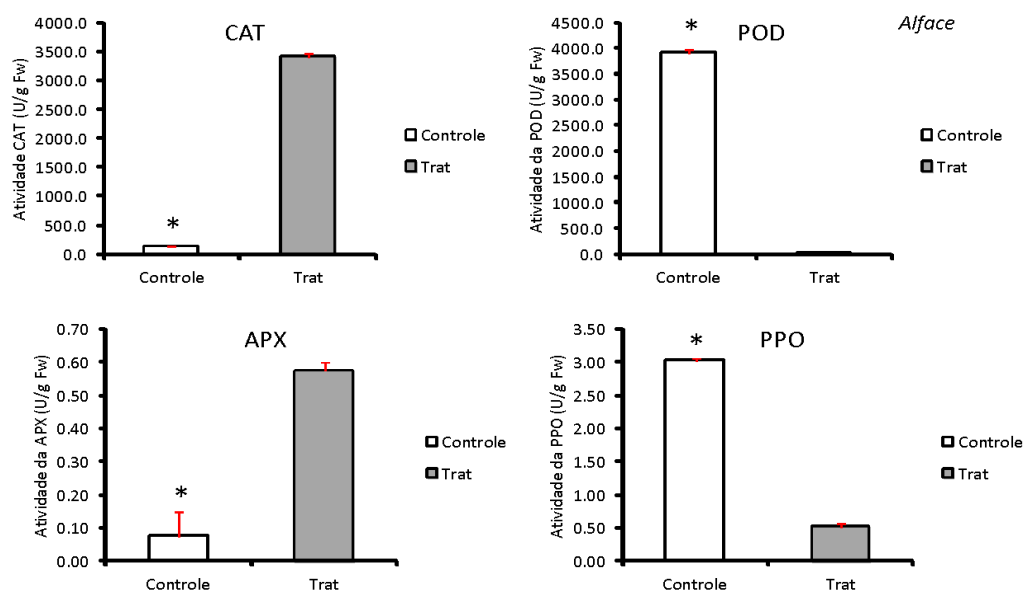
Modelos	N	Inclinação	CL50 (IC95) mg L ⁻¹	CL90 (IC95) mg L ⁻¹	χ^2	GL	p-valor
Alface	30	1,17 $\pm$ 0,32	157	1935	5,59	15	0,65
Cebola	30	1,57 $\pm$ 0,40	633	4128	7,10	15	0,79

N: Número de sementes Utilizadas; IC: intervalo de confiança; χ^2 : Chi-quadrado; GL: Grau de liberdade

Os compostos presentes nesse óleo interferiram nos processos fisiológicos críticos das plantas associados ao metabolismo enzimático (CAT, POD, APX e PPO). Indicativo ao estresse provocado pelo OE-Cit, os efeitos fitotóxicos desencadeados podem ser explorados no manejo de plantas daninhas (Figura 1A e Figura 1B).

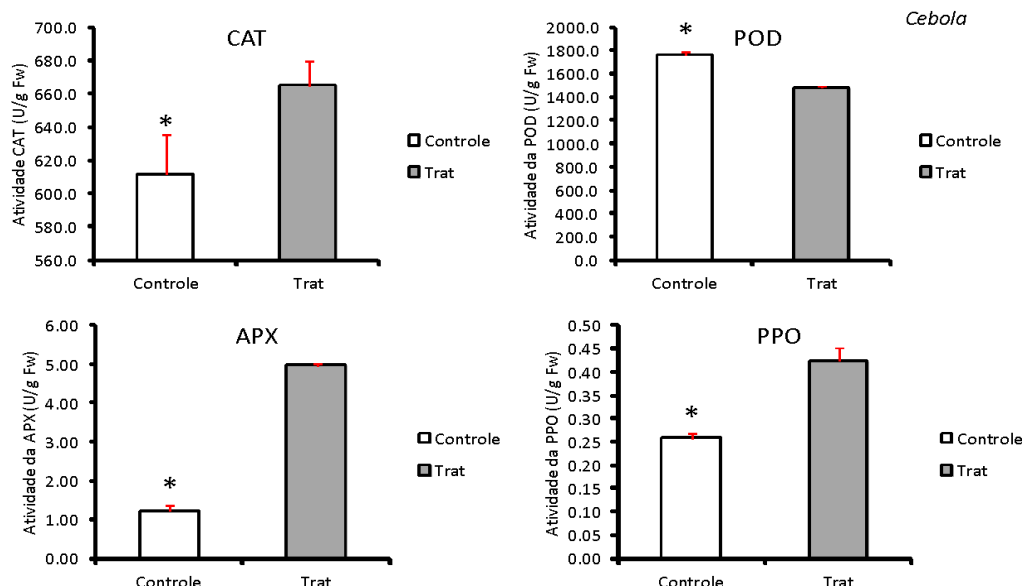
Figura 1 - Alterações na atividade enzimática das sementes de alface (*Lactuca sativa*) e de cebola (*Allium cepa*) na presença do OE-Cit.

A



OE-Cit– Óleo essencial das folhas de citronela C = 1935 mg L⁻¹; Sementes de Alface (*Lactuca sativa*); CAT: catalases; POD: peroxidases; APX: ascorbato peroxidase; PPO: polifenol oxidase. Teste t-Student para amostras independentes com variâncias diferentes; *p < 0,05, indica diferenças entre médias na presença e ausência do OE-Cit.

B



OE-Cit= Óleo essencial das folhas de citronela, C = 1935 mg L⁻¹; Sementes de cebola (*Allium cepa*); CAT: catalases; POD: peroxidases; APX: ascorbato peroxidase; PPO: polifenol oxidase. Teste t-Student para amostras independentes com variâncias diferentes; *p < 0,05, indica diferenças entre médias na presença e ausência do OE-Cit.

Discussão

A densidade, OE-Cit = 0,9007 ± 0,0027 g cm⁻³, permite dimensionar recipientes de comercialização e a dosagem de utilização do produto. Em relação ao aspecto sensorial a análise indicou que o OE citronela possui aroma cítrico, limonado e levemente adocicado e apresentando-se incolor e translúcido. Tais atributos são valorizados pelas indústrias cosméticas, farmacêuticas e alimentícias, as quais priorizam a excelência visual e aromática em produtos formulados a partir de óleos essenciais (Ivanova *et al.*, 2025).

A capacidade de um terpeno agir como antioxidante ou pró-oxidante é diretamente influenciado pela sua concentração. Em doses elevadas, esses compostos tendem a induzir estresse oxidativo, comportando-se como pró-oxidantes. Por outro lado, em concentrações mais baixas, eles funcionam como antioxidantes (Baccouri *et al.*, 2021). Dessa forma, a elevada presença de monoterpenos e sesquiterpenos oxigenados no OE-Cit está intimamente ligada à sua ação fitotóxica, decorrente da intensificação do estresse oxidativo e da consequente alterações nos processos metabólicos vitais nas plantas receptoras.

Para as radículas de alface, a concentração letal capaz de inibir 50% das unidades experimentais (CL50) foi de 157 mg L⁻¹, enquanto a CL90 foi de 1935 mg L⁻¹. Já para cebola, os valores foram de 633 mg L⁻¹ (CL50) e 4128 mg L⁻¹ (CL90), indicando maior sensibilidade da alface ao óleo essencial de citronela em comparação à cebola (Tabela 2). A inclinação da curva dose-resposta foi de 1,17 ± 0,32 para alface e 1,57 ± 0,40 para cebola, sugerindo que pequenos aumentos na concentração do óleo resultam em variações mais abruptas de toxicidade nas sementes de alface. O ajuste dos modelos foi satisfatório para ambas as espécies, com valores de χ^2 de 5,59 (p = 0,65) para alface e 7,10 (p = 0,79) para cebola, indicando ausência de falta de ajuste significativa (p > 0,05).

As sementes de alface demonstraram uma resposta mais acentuada e complexa comparado com a cebola. Tanto no alface, quanto na cebola, houve um aumento muito significativo na atividade da Catalase (CAT) e um aumento notável na APX, sinalizando um estresse oxidativo intenso e uma forte mobilização dos sistemas de eliminação de espécies reativas de oxigênio (Rao *et al.*, 2025 e Rasheed, 2024).

Em síntese, nas sementes de alface, independentemente da presença do peróxido de hidrogênio como co-substrato, o OE-Cit comprometeu a atuação das enzimas responsáveis pelo processamento de substratos fenólicos (POD e PPO), reduzindo sua função antioxidante e defensiva. Essa inibição limitou tanto a eliminação do excesso de espécies reativas de oxigênio (ROS) quanto o reforço de barreiras estruturais, o que justifica a maior vulnerabilidade fisiológica observada na alface.

Já na cebola, embora tenha ocorrido uma leve redução da POD, a atividade da PPO foi aumentada, indicando que as enzimas relacionadas ao metabolismo fenólico apresentaram maior resistência à ação do óleo. Essa resposta sugere que a cebola manteve a capacidade de metabolizar compostos fenólicos e sustentar mecanismos antioxidantes e de integridade celular, conferindo-lhe maior tolerância ao estresse induzido.

Conclusão

A caracterização química do óleo essencial de citronela revelou alta proporção de monoterpenos e sesquiterpenos oxigenados, compostos reconhecidos por sua atividade biológica e capacidade de induzir estresse oxidativo. Nos ensaios biológicos, o OE-Cit mostrou efeito inibitório significativo sobre a germinação de sementes, principalmente em alface, espécie mais sensível, conforme os valores de CL₅₀ e CL₉₀ obtidos. A análise enzimática demonstrou que o OE-Cit afeta diretamente os sistemas antioxidantes das espécies avaliadas. Na alface, a inibição de POD e PPO, aliada à estimulação parcial de CAT e APX, comprometeu a defesa celular, explicando sua maior susceptibilidade. Já a cebola apresentou um padrão de resposta mais robusto, com ativação simultânea de CAT, APX e PPO, conferindo maior tolerância ao estresse imposto pelo óleo. Os resultados confirmam que o OE-Cit exerce efeito fitotóxico dependente da espécie e está associado à indução de estresse oxidativo. Sua capacidade de inibir germinação e alterar mecanismos antioxidantes reforça o potencial de uso como bioherbicida natural. No entanto, a variação de sensibilidade entre espécies destaca a necessidade de estudos adicionais em diferentes plantas daninhas e em condições de campo, visando validar sua eficácia e seletividade no manejo agrícola sustentável.

Referências

ALHANTOOBI, W. A. *et al.* Antimicrobial activity of essential oils and their mechanism of action against bacterial and fungal infections. **Saudi Journal of Biomedical Research**. V. 10, n. 6, p. 168, 2025. < <https://doi.org/10.36348/sjbr.2025.v10i06.003> >

BACCOURI, B.; RAJHI, I. Potential antioxidant activity of terpenes. *In: Terpenes and Terpenoids - Recent Advances*. [S.l.]: IntechOpen, 2021. Disponível em: < <https://www.intechopen.com/chapters/75827#B19> > Acesso em: jul. 2025.

CABALLERO-GALLARDO, K. *et al.* Deleterious effects of *Cymbopogon nardus* (L.) essential oil on life cycle and midgut of the natural predator *Ceraeochrysa claveri* (Navás, 1911) (Neuroptera: Chrysopidae). **Insects**, v. 14, n. 4, p. 367, 2023. < <https://doi.org/10.3390/insects14040367> >

DE CARVALHO, J. R. *et al.* Análise de probit aplicada a bioensaios com insetos. 2017. ISBN: 978-85-64937-08-6 (E-book). Disponível em https://www.researchgate.net/profile/JoseCarvalho-66/publication/317994149_ANALISE_DE_PROBIT_APLICADA_A_BIOENSAIOS_COM_INSETOS/links/5954596ea6fdcc16978946fd/ANALISE-DE-PROBIT-APLICADA-A-BIOENSAIOS-COM-INSETOS.pdf Acessado em 21 de junho de 2023.

DE JESUS, V. L. B.; PALMA, D. A. Medição da densidade do óleo: uma discussão sobre sua otimização e diminuição dos custos via incerteza relativa da medição. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 3302.1-3302.6. 2008. < <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008005000002> >

DE SOUZA, T. S. *et al.* Essential oil of *Psidium guajava*: Influence of genotypes and environment. **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 38-44, 2017.. < <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.026> >

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

DUTRA, Q. P. *et al.* Phytocytotoxicity of volatile constituents of essential oils from Sparattanthelium Mart. species (Hernandiaceae). **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 12213, 2020. < <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-69205-6> >

FENG, G. *et al.* Herbicidal activities of compounds isolated from the medicinal plant Piper sarmentosum. **Industrial Crops and Products**, v. 132, p. 41-47. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.020>

HAZRATI, H. *et al.* Natural herbicide activity of Satureja hortensis L. essential oil nanoemulsion on the seed germination and morphophysiological features of two important weed species. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 142, p. 423-430. 2017. < <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.04.041> >

IVANOVA, S. *et al.* Essential oils—a review of the regulatory framework in the European Union. **Pharmacia**, v. 72, p. 1-12, 2025. < <https://doi.org/10.3897/pharmacia.72.e154479> >

MIRANDA, C. A. S. F. *et al.* Allelopathic activity of medicinal plant essential oils on seed germination and vigor of lettuce achenes. **Semina: Ciências Agrárias (Londrina)**, v. 36, n. 3(1), p. 1783-1797 2015. < <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p1783> >

PARVEN, A. *et al.* Herbicides in modern sustainable agriculture: environmental fate, ecological implications, and human health concerns. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 22, n. 2, p. 1181-1202, 2025. < <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05818-y> >

POURESMAEIL, M. *et al.* Exploring the bio-control efficacy of Artemisia fragrans essential oil on the perennial weed Convolvulus arvensis: Inhibitory effects on the photosynthetic machinery and induction of oxidative stress. **Industrial Crops and Products**, v. 155, p. 112785, 2020. < <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112785> >

PROCÓPIO, D. P.; BINOTTO, E.; PEREIRA, M. W. G.. Fatores associados à adoção de tecnologia no setor agropecuário. **REAd. Revista Eletrônica de Administração** (Porto Alegre), v. 30, n. 1, p. 844-874, 2024. < <https://doi.org/10.1590/1413-2311.396.127244> >

RAO, M. J. *et al.* Antioxidant defense system in plants: Reactive oxygen species production, signaling, and scavenging during abiotic stress-induced oxidative damage. **Horticulturae**, v. 11, n. 5, p. 477, 2025. < <https://doi.org/10.3390/horticulturae11050477> >

RASHEED, Z. Therapeutic potentials of catalase: Mechanisms, applications, and future perspectives. **International Journal of Health Sciences**, v. 18, n. 2, p. 1, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10915913/>. Acesso em: ago de 2025.

SILVA, A. M. D. *et al.* Essential oils on the control of postharvest diseases of papaya. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 97, n. 1, p. e20240770, 2025. < <https://doi.org/10.1590/0001-3765202520240770> >

TISSOT, E. *et al.* Rapid GC-FID quantification technique without authentic samples using predicted response factors. **Flavour and fragrance journal**, 27(4), 290-296, 2012. < <https://doi.org/10.1002/ffj.3098> >

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vitória, pela infraestrutura e disponibilização de equipamentos, e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pelo apoio à iniciação científica por meio da concessão de bolsas.