

NANOEMULSÕES DE ÓLEO ESSENCIAL DE *Piper dilatatum* PARA CONTROLE SUSTENTÁVEL DE ERVAS DANINHAS

Loren Cristina Vasconcelos¹, Luiza Alves Mendes², Rafael Resende de Assis Silva³, Taíla Veloso de Oliveira⁴, Renata Pereira Lopes², Tatiana Tavares Carrijo¹, Milene Miranda Praça Fontes¹.

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n, Guararema, Departamento de Biologia - 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, loren-vasconcelos@hotmail.com, milenemiranda@yahoo.com.br, tcarrijo@gmail.com.

²Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Departamento de Química - 36570-900 - Viçosa-MG, Brasil, luiza.alves@ufv.br, renata.plopes@ufv.br.

³Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luís, Km 235, 13565-905 – São Carlos – SP, Brasil, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, rafaelras@estudante.ufscar.br.

⁴Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Departamento de Tecnologia de Alimentos - 36570-900 - Viçosa-MG, taíla.oliveira@ufv.br.

Resumo

A crescente preocupação com os impactos ambientais e a resistência aos herbicidas sintéticos impulsiona a busca por alternativas sustentáveis de controle de ervas daninhas. O óleo essencial (OE) de *Piper dilatatum* se destaca como uma promissora opção para herbicidas naturais. No entanto, sua aplicação enfrenta limitações devido à baixa solubilidade aquosa e rápida degradação. Para superar esses desafios, as nanoemulsões (NEs) têm se destacado como eficazes métodos de proteção para OEs. Neste estudo, formulamos NE do OE de *P. dilatatum* através de homogeneização ultrassônica e avaliamos sua atividade herbicida contra *Bidens pilosa* L. A NE apresentou gotículas em tamanho nano (8,7 nm) e maior estabilidade térmica em comparação com o OE não encapsulado. A NE causou uma forte inibição no crescimento das raízes e parte aérea de *B. pilosa*. Isso sugere que a NE preservou as propriedades fitotóxicas do OE de *P. dilatatum*, ao mesmo tempo em que aprimorou suas características físico-químicas. Portanto, a formulação de NEs emerge como uma opção viável para melhorar a aplicação de compostos bioativos em práticas agrícolas mais sustentáveis e eficazes.

Palavras-chave: Herbicida natural. Nanoemulsões. Encapsulamento. Piperaceae. Fitotoxicidade.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônoma.

Introdução

O uso predominante de herbicidas sintéticos para controle de ervas daninhas, visando atender às necessidades alimentares agrícolas, levanta preocupações devido aos impactos ambientais e riscos à saúde humana, como a toxicidade fora do alvo e a persistência desses produtos (SHARMA *et al.*, 2019). Em consonância com a Agenda 2030 da ONU para Desenvolvimento Sustentável (KATILA *et al.*, 2019), que ressalta a importância da agricultura sustentável e segurança alimentar, torna-se crucial o desenvolvimento de tecnologias mais eficazes e ecologicamente responsáveis para o controle de plantas indesejadas. Nesse contexto, herbicidas derivados de óleos essenciais (OEs) emergem como promissoras alternativas naturais, devido à sua biodegradabilidade e baixo risco de resistência (PAVELA; BENELLI, 2016). Contudo, desafios como a limitada solubilidade em água e suscetibilidade à degradação sob exposição a fatores ambientais têm restringido sua aplicação industrial (PAVONI *et al.*, 2020).

Nos últimos anos, as nanoemulsões (NEs) têm ganhado destaque como transportadores eficazes de OEs, visando melhorar solubilidade em água, estabilidade física e liberação controlada das substâncias ativas, reduzindo a volatilização e degradação (PAVONI *et al.*, 2020). Essas emulsões ultrafinas, consistem em gotículas de 20 a 500 nm contendo óleo, água e emulsificante/surfactante, que exibem resistência a mudanças físicas devido a sua estabilidade cinética (GUPTA *et al.*, 2016).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Bidens pilosa L. (família Asteraceae), erva daninha anual amplamente distribuída em climas tropicais, afeta várias culturas, como milho e arroz, sendo controlada principalmente por glifosato (WAGNER; HERBST; SOHMER, 1999). No entanto, o uso excessivo desse herbicida de amplo espectro tem levado à resistência, evidenciada em populações mexicanas (ALCÁNTARA-DE LA CRUZ *et al.*, 2016).

Recentemente, o OE extraído de *Piper dilatatum* Rich (família Piperaceae) demonstrou efeito fitotóxico notável, inibindo o crescimento de ervas daninhas como *Lolium perenne*, devido às interações sinérgicas/antagonistas de seus componentes (JARAMILLO-COLORADO; PINO-BENITEZ; GONZALEZ-COLOMA, 2019). Nesse contexto, este estudo busca avaliar a eficácia herbicida da NE contendo OE de *P. dilatatum* no crescimento inicial de *B. pilosa* L., contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis e ambientalmente amigáveis.

Metodologia

Folhas de *P. dilatatum* foram coletadas no Parque Estadual Mata das Flores, Castelo, Espírito Santo, Brasil (20° 35'54" S; 41° 10'53" W) e secas em estufa a 40 °C. O OE foi extraído por hidrodestilação usando aparelho Clevenger por 4 horas. A identificação e semiquantificação dos componentes do OE ocorreram por cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas (GC-MS QP2010SE, Shimadzu, Japão), comparando com bancos de dados (Wiley 7, NIST 05 e NIST 05s), seguindo Mendes *et al.* (2017). A NE foi preparada pelo método de alta energia, usando homogeneizador ultrassônico de alta potência (IKA T ULTRA-TURRAX) com surfactante tween 80, conforme metodologia adaptada de Azevedo *et al.* (2021). A caracterização da NE quanto a tamanho, carga e índice de polidispersidade foi feita por espalhamento dinâmico de luz (DLS) em triplicata (Zetasizer Nano ZS90, Malvern Zen Instrument Ltd, Reino Unido, (25 ± 2) °C, laser de 633 nm, ângulo de leitura de 173°), seguindo Mendes *et al.* (2023a). Visando avaliar a estabilidade térmica do OE, tween 80 e NE de *P. dilatatum*, foram obtidas as curvas termogravimétricas usando o analisador térmico DTG (SHIMADZU, modelo 60H, Kyoto, Japão). Aproximadamente 3 mg de cada amostra foram adicionadas em placas de alumina e aquecidas de 25 a 450 °C a 10 °C min⁻¹, sob fluxo de nitrogênio de 50 mL min⁻¹.

Os ensaios de fitotoxicidade foram conduzidos em laboratório. Cinco concentrações do OE (3000, 1500, 750, 375 e 187,5 µg mL⁻¹) foram obtidas por diluição em solvente composto por água destilada, acetona (2%) e tween 80 (0,05%). As mesmas concentrações foram preparadas para a NE por diluição em água destilada. O solvente foi utilizado como controle negativo e o herbicida glifosato (1 mL L⁻¹) (pós-emergente) como controle positivo. Para cada tratamento, 25 sementes de *B. pilosa* foram colocadas em placas de Petri com papel filtro e tratadas com 3 mL das soluções. As placas foram envoltas com papel filme e incubadas em câmara de germinação a (24 ± 2) °C, com fotoperíodo de 16 horas no claro e 8 horas no escuro. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Após 7 dias, foram medidos os comprimentos de raiz e parte aérea. Os experimentos foram realizados como um fatorial de 2 vias (2 formulações x 5 concentrações + 2 controles). Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p < 0,05) no ambiente R, versão 4.1.0 (R CORE TEAM, 2021).

Resultados

A análise da composição revelou a presença de 9 compostos, sendo estes principalmente sesquiterpenos hidrogenados, representando 72,3% do OE. São eles, os majoritários viridifloreno (22,9%) e germacreno D (20,8%), e os compostos β-elemeno (3,2%), β-cariofileno (6,2%), α-humuleno (9,4%) e α-farneseno (7,8%). Espatuleno (4,8%) e α-eudesmol (3,4%), sesquiterpenos oxigenados, também foram identificados. β-pineno (3,2%) foi o único monoterpene hidrogenado encontrado.

A Tabela 1 apresenta o diâmetro hidrodinâmico das gotas, o PDI e o potencial Zeta da NE. Observamos que tanto o diâmetro hidrodinâmico quanto os valores de PDI aumentaram ao longo do tempo de armazenamento. O PDI variou de 0,170 a 0,398. Após a preparação da NE, o diâmetro médio das partículas foi de 8,679 nm, enquanto após 3 meses, aumentou para 177,3 nm. Além disso, o potencial Zeta da NE tornou-se mais negativo com o decorrer do tempo. As estabilidades térmicas do OE, tween 80 e da NE são mostradas na Figura 1. Verificou-se que a temperatura de máxima decomposição do OE de *P. dilatatum* foi de 187 °C, enquanto após a proteção pela formação de nanoemulsões, a temperatura foi deslocada para 402 °C, referente a segunda temperatura

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

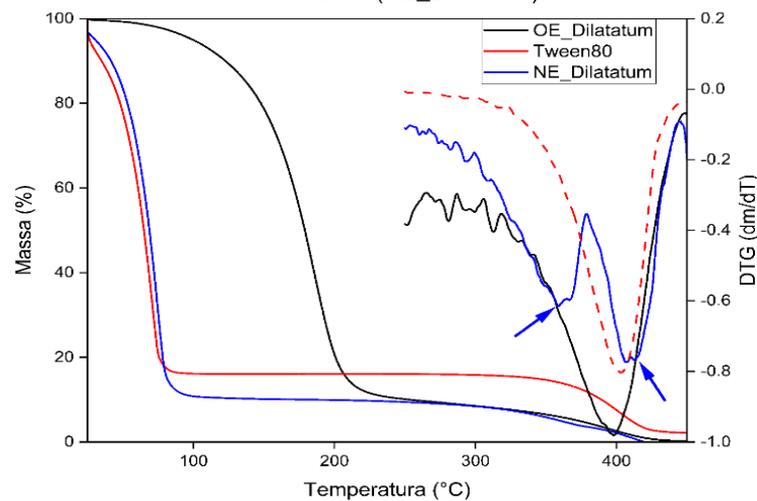
decomposição do tween 80. Essa possível proteção se torna ainda mais evidente quando se observa dois picos na DTG da NE (360 e 414 °C), indicando a presença de decomposição de duas substâncias diferentes.

Tabela 1- Caracterização da nanoemulsão do óleo essencial de *Piper dilatatum*.

| Diâmetro hidrodinâmico (nm) | | Potencial Zeta (mV) | | Índice de polidispersidade | |
|-----------------------------|---------------|---------------------|--------------|----------------------------|---------|
| 0 dias | 6 meses | 0 dias | 6 meses | 0 dias | 6 meses |
| 8,7 ± 2,3 | 177,3 ± 105,4 | -4,73 ± 4,0 | - 7,11 ± 2,8 | 0,170 | 0,398 |

Fonte: os autores.

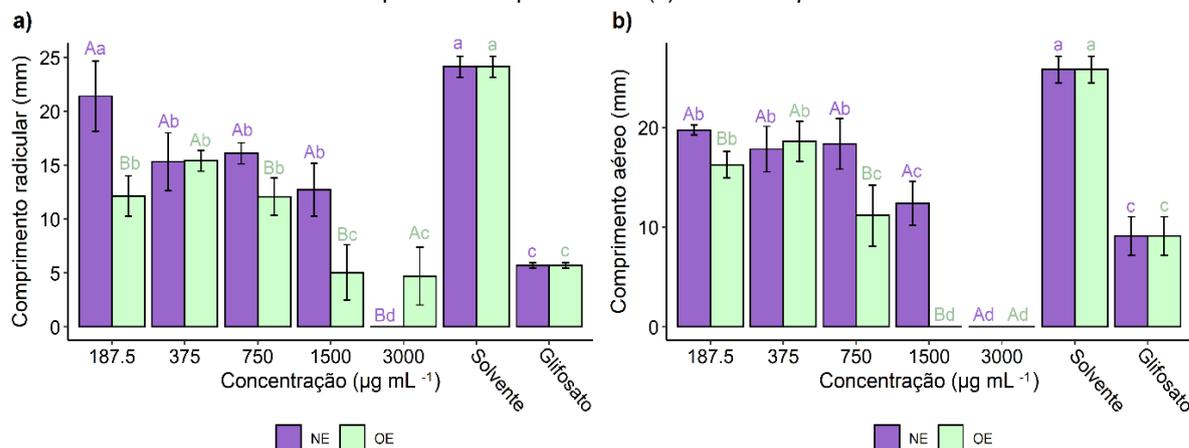
Figura 1 – Decomposição térmica do óleo essencial de *P. dilatatum* (OE_Dilatatum), Tween 80 (Tween80) e da nanoemulsão (NE_Dilatatum).



Fonte: os autores.

No que diz respeito à atividade herbicida em *B. pilosa*, a NE e o OE provocaram inibições no crescimento radicular e da parte aérea em comparação com o solvente, exceto para a concentração de 187,5 µg mL⁻¹ da NE no crescimento radicular (Figura 2).

Figura 2 - Efeitos fitotóxicos das formulações do óleo essencial de *Piper dilatatum* no comprimento da raiz (a) e comprimento da parte aérea (b) de *Bidens pilosa*.



Letras iguais (maiúsculas entre as formulações e minúsculas para concentrações e controles dentro de cada óleo essencial) não diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05). OE: óleo essencial. NE: nanoemulsão.

Fonte: os autores.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Quanto ao alongamento radicular, em geral, observou-se que o OE resultou em menor crescimento em comparação com a NE. As maiores reduções com o OE foram notadas nas concentrações mais elevadas (1500 e 3000 $\mu\text{g mL}^{-1}$), que foram estatisticamente equivalentes às causadas pelo herbicida glifosato. A concentração 3000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ da NE, suprimiu completamente o desenvolvimento radicular, superando os efeitos do OE e glifosato (Figura 2a). Em relação ao comprimento da parte aérea, o OE também causou as maiores reduções, com efeito equivalente ao glifosato a 750 $\mu\text{g mL}^{-1}$ e inibição total a 1500 e 3000 $\mu\text{g mL}^{-1}$. A NE a 1500 $\mu\text{g mL}^{-1}$ reduziu o comprimento da parte aérea de forma similar ao glifosato, enquanto a concentração de 3000 $\mu\text{g mL}^{-1}$, assim como o OE, suprimiu completamente o desenvolvimento da parte aérea, superando o efeito do glifosato (Figura 2b).

Discussão

A análise fitoquímica do OE das folhas de *P. dilatatum* revelou a predominância de sesquiterpenos hidrogenados, estes compostos foram característicos de várias espécies de Piper (JARAMILLO-COLORADO; PINO-BENITEZ; GONZALEZ-COLOMA, 2019). Os compostos germacreno D e viridifloreno também foram identificados como majoritários em outros estudos com o OE da espécie (ANDRADE *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014).

A coalescência e amadurecimento de Ostwald são dois dos principais fenômenos de desestabilização cinética de NEs e podem ser eficientemente avaliados pela alteração do tamanho, potencial Zeta e PDI. Nesse sentido, os resultados de diâmetro hidrodinâmico indicaram uma desestabilização microscópica do sistema por um desses fenômenos, tendo em vista o aumento de até 20x do tamanho coloidal após 6 meses. Essa desestabilização pode ser explicada pelo baixo valor (em módulo) de potencial Zeta, visto que valores acima de 30 mV representam uma forte repulsão eletrostática, prevenindo a coalescência (PAN *et al.*, 2019). Por sua vez, valores de PDI acima de 0,1 indicam um sistema polidisperso, o que contribui para o amadurecimento de Ostwald (REICHERT *et al.*, 2019). Isso acontece, pois as partículas pequenas tendem a se mover em direção as partículas grandes, devido ao menor raio de curvatura, provocando a desestabilização do sistema pelo aumento do raio hidrodinâmico das partículas (KOROLEVA; YURTOV, 2021). Portanto, o tamanho, potencial zeta e PDI são alguns dos principais fatores para controle da desestabilização de emulsões e podem ser otimizados em delineamentos estatísticos visando prolongar a vida útil das NEs.

Os OEs são conhecidos por serem substâncias voláteis e com baixa resistência química e física a intempéries, e.g., temperatura, oxigênio e umidade, tendo principalmente a redução da sua bioatividade com o aumento da temperatura. Nesse sentido, o aumento na estabilidade térmica do OE de *P. dilatatum* observado na Figura 1, após a formação de NE, pode amplificar a gama de aplicações e a sua vida útil. Entretanto, é imperativo realizar ensaios adicionais de bioatividade após tratamento térmico acima da temperatura de decomposição do OE de *P. dilatatum* (187 °C), visando comprovar ganho da estabilidade térmica do OE após a formação de NE.

A atividade fitotóxica do OE de *P. dilatatum* sobre o crescimento radicular e da parte aérea de *B. pilosa* pode ser atribuída à presença de sesquiterpenos e monoterpenos no OE, que podem inibir a divisão celular e causar alterações nas raízes (SHAO *et al.*, 2013). O monoterpeno β -pineno, por exemplo, induz modificações anatômicas e fisiológicas nas sementes, além de afetar a síntese de DNA (NISHIDA *et al.*, 2005). O β -cariofileno, exerce uma atividade alelopática que impacta a germinação e o crescimento de diversas ervas daninhas, incluindo *B. pilosa* (MENDES *et al.*, 2023b). Além disso, o composto majoritário do OE, germacreno D, também pode ter contribuído para os efeitos observados, uma vez que estudos anteriores associaram esse composto à redução do crescimento tanto radicular quanto da parte aérea de plantas (VASCONCELOS *et al.*, 2022). O sinergismo entre os componentes no OE de *P. dilatatum* podem ter contribuído para os efeitos observados.

Ao avaliar o efeito do OE encapsulado, a NE apresentou reduções menores no desenvolvimento inicial de *B. pilosa* em relação ao OE não encapsulado, porém ainda preservou a atividade fitotóxica. A 3000 $\mu\text{g mL}^{-1}$, o encapsulamento manteve e intensificou a bioatividade do OE sobre a parte aérea, devido a uma redução mais acentuada. Esse aumento na eficácia da NE é atribuído ao tamanho reduzido das gotículas, que facilitam a penetração nos tecidos vegetais (HASAFA *et al.*, 2022). À medida que as gotículas diminuem, a atividade biológica dos compostos lipofílicos encapsulados aumenta, devido ao transporte facilitado pelas membranas biológicas e à maior relação superfície/volume (SALVIA-TRUJILLO *et al.*, 2015). Assim, os compostos bioativos podem ser absorvidos na superfície das raízes, caules e folhas, ou penetrar na cutícula e epiderme, atingindo os

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

tecidos vasculares e sendo transportados para outras partes da planta (PAN *et al.*, 2023).

Conclusão

No presente estudo, obtivemos sucesso na produção da NE do OE de *P. dilatatum*, evidenciado pelo tamanho das gotículas em escala nano, além da melhora da solubilidade aquosa e a possível elevação da temperatura máxima de decomposição do OE. Após 6 meses de armazenamento, observamos um aumento no diâmetro hidrodinâmico, no potencial Zeta e no PDI da NE, indicando a desestabilização do sistema devido ao amadurecimento de Ostwald e/ou coalescência. Entretanto, esses fatores podem ser otimizados para prolongar a estabilidade físico-química da NE durante o armazenamento. Quanto a atividade herbicida, os resultados indicam que a NE do OE de *P. dilatatum* teve um impacto significativo no desenvolvimento inicial de *B. pilosa*. A concentração de 3000 µg mL⁻¹ da NE inibiu completamente o crescimento da raiz e parte aérea, possivelmente devido à absorção facilitada de compostos como β-cariofileno, germacreno D e β-pineno pelos tecidos vegetais devido ao tamanho reduzido das gotículas da NE. Essa estratégia de formação de NEs apresenta potencial para melhorar abordagens agrícolas sustentáveis e eficazes com compostos bioativos naturais. Estudos futuros podem avaliar a eficácia da NE do OE de *P. dilatatum* em contextos de campo e investigar o seu impacto sobre pigmentos fotossintéticos, metabólitos secundários e atividade enzimática, visando compreender melhor seu mecanismo de ação.

Referências

- ALCANTARA-DE LA CRUZ, R.; FERNÁNDEZ-MORENO, P.T.; OZUNA, C.V.; ROJANO-DELGADO, A.M.; CRUZ-HIPOLITO, H.E.; DOMÍNGUEZ-VALENZUELA, J.A.; BARRO, F.; DE PRADO, R. Target and non-target site mechanisms developed by glyphosate-resistant hairy beggarticks (*Bidens pilosa* L.) populations from Mexico. **Front. Plant Sci.**, v. 7, 2016.
- ANDRADE, E.H.A.; ALVES, C.N.; GUIMARÃES, E.F.; CARREIRA, L.M.M.; MAIA, J.G.S. Variability in essential oil composition of *Piper dilatatum* LC Rich. **Biochem. Syst. Ecol.**, v. 39, n. 4-6, p. 669-675, 2011.
- AZEVEDO, M.M.; ALMEIDA, C.A.; CHAVES, F.C.; RICCI-JÚNIOR, E.; GARCIA, A.R.; RODRIGUES, I.A.; ALVIANO, C.S.; ALVIANO, D.S. Croton cajucara Essential Oil Nanoemulsion and Its Antifungal Activities. **Processes**, v. 9, n. 11, p. 1872, 2021.
- GUPTA, A.; ERAL, H.B.; HATTON, T.A.; DOYLE, P.S. Nanoemulsions: formation, properties and applications. **Soft matter**, v. 12, n. 11, p. 2826-2841, 2016.
- HAZAFÁ, A.; MURAD, M.; MASOOD, M.U.; BILAL, S.; KHAN, M.N.; FAROOQ, Q.; IQBAL, M.O.; SHAKIR, M.; NAEEM, M. Nano-biopesticides as an emerging technology for pest management. In: Ranz, E.R.R. **Insecticides: Impact and Benefits of Its Use for Humanity**. IntechOpen, 2022.
- JARAMILLO-COLORADO, B.E.; PINO-BENITEZ, N.; GONZALEZ-COLOMA, A. Volatile composition and biocidal (antifeedant and phytotoxic) activity of the essential oils of four Piperaceae species from Choco-Colombia. **Ind. Crops Prod.**, v. 138, p. 111463, 2019.
- KOROLEVA, M.Y.; YURTOV, E.V. Ostwald ripening in macro-and nanoemulsions. **Russ. Chem. Rev.**, v. 90, n. 3, p. 293, 2021.
- MENDES, L.A.; SILVA, R.R.A.; SOARES, E.E.O.; CORRÊA, M.J.M.; MARQUES, C.S.; FERREIRA, M.F.S.; T, R.R.; MOREIRA, R.P.L. Optimization of inclusion complex's preparation of *Psidium cattleyanum* S. essential oil and 2-hydroxypropyl-β-cyclodextrin by central composite design for application as larvicide in *Aedes aegypti* L. **Ind. Crops Prod.**, v. 194, p. 116333, 2023a.
- MENDES, L.A.; VASCONCELOS, L.C.; FONTES, M.M.P.; MARTINS, G.S.; BERGAMIN, A.D.S.; SILVA, M.A.; SILVA, R.R.S.; OLIVEIRA, T.V.; SOUZA, V.G.L.; FERREIRA, M.F.S.; TEIXEIRA, R.R.; LOPES, R.P. Herbicide and Cytogenotoxic Activity of Inclusion Complexes of *Psidium gaudichaudianum* Leaf Essential Oil and β-Caryophyllene on 2-Hydroxypropyl-β-cyclodextrin. **Molecules**, v. 28, n. 15, p. 5909, 2023b.
- MENDES, L.A.; MARTINS, G.F.; VALBON, W.R.; SOUZA, T.D.S.; MENINI, L.; FERREIRA, A.; FERREIRA, M.F.S. Larvicidal effect of essential oils from Brazilian cultivars of guava on *Aedes*

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

aegypti L. **Ind. Crops Prod.**, v. 108, p. 684–689, 2017.

NISHIDA, N.; TAMOTSU, S.; NAGATA, N.; SAITO, C.; SAKAI, A. Allelopathic effects of volatile monoterpenoids produced by *Salvia leucophylla*: inhibition of cell proliferation and DNA synthesis in the root apical meristem of *Brassica campestris* seedlings. **J. Chem. Ecol.**, v. 31, p. 1187-1203, 2005.

PAN, X.; FANG, Y.; WANG, L.; SHI, Y.; XIE, M.; XIA, J.; XIONG, X.; SHEN, X.; HU, Q. Covalent Interaction between Rice Protein Hydrolysates and Chlorogenic Acid: Improving the Stability of Oil-in-Water Emulsions. **J. Agric. Food Chem.**, v. 67, n. 14, p. 4023-4030, 2019.

PAN, X.; GUO, X.; ZHAI, T.; ZHANG, D.; RAO, W.; CAO, F.; GUAN, X. Nanobiopesticides in sustainable agriculture: developments, challenges, and perspectives. **Environ. Sci. Nano**, v. 10, p. 41-61, 2023.

PAVELA, R.; BENELLI, G. Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. **Trends Plant Sci.**, v. 21, n. 12, p. 1000-1007, 2016.

PAVONI, L.; PERINELLI, D.R.; BONACUCINA, G.; CESPI, M.; PALMIERI, G.F. An overview of micro- and nanoemulsions as vehicles for essential oils: Formulation, preparation and stability. **Nanomaterials**, v. 10, n. 1, p. 135, 2020.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2021.

REICHERT, C.L.; SALMINEN, H.; BADOLATO BÖNISCH, G.; SCHÄFER, C.; WEISS, J. Influence of concentration ratio on emulsifying properties of Quillaja saponin - protein or lecithin mixed systems. **Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.**, v. 561, p. 267-274, 2019.

ROJAS-SANDOVAL, J. *Bidens pilosa* (blackjack). **CABI Compendium**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.9148>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SALVIA-TRUJILLO, L.; ROJAS-GRAÜ, A.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Physicochemical characterization and antimicrobial activity of food-grade emulsions and nanoemulsions incorporating essential oils. **Food hydrocoll.**, v. 43, p. 547-556, 2015.

SHAO, H.; ZHANG, Y.; Peng, N.A.N.; HUANG, X.; ZHANG, C. Chemical composition and phytotoxic activity of the volatile oil of invasive *Xanthium italicum* Moretti from Xinjiang, China. **J. Arid Land**, v. 5, p. 324-330, 2013.

SHARMA, A.; KUMAR, V.; SHAHZAD, B.; TANVEER, M.; SIDHU, G.P.S.; HANDA, N.; KOHLI, S.K.; YADAV, P.; BALI, A.S.; PARIHAR, R.D.; DAR, O.I.; SINGH, K.; JASROTIA, S.; BAKSHI, P.; RAMAKRISHNAN, M.; KUMAR, S.; BHARDWAJ, R.; THUKRAL, A.K. Worldwide Pesticide Usage and Its Impacts on Ecosystem. **SN Applied Sciences**, v. 1, p. 1-16, 2019.

SILVA, J.A.; OLIVEIRA, F.F.; GUEDES, E.S.; BITTENCOURT, M.A.L.; OLIVEIRA, R.A. Atividade antioxidante de *Piper arboreum*, *Piper dilatatum* e *Piper divaricatum*. **Rev. Bras. de Plantas Medicinai**s, v. 16, p. 700-706, 2014.

KATILA, P.; COLFER, C.P.; DE JONG, W.; GALLOWAY, G.; PACHECO, P.; WINKEL, G. (Eds.). **Sustainable Development Goals: Their Impacts on Forests and People**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.

VASCONCELOS, L.C.; CARRIJO, T.T.; VENANCIO, A.N.; ALVES, T.A.; TULER, A.C.; HOLLUNDER, R.K.; GARBIN, M.L.; MENINI, L.; PRACA-FONTES, M.M. Phytochemical screening and phytocytotoxic effects of the tropical *Myrcia vittoriana* (Myrtaceae). **An. Acad. Bras. Ciênc.**, v. 94, n. 3, p. e20210820, 2022.

WAGNER, W.L.; HERBST, D.R.; SOHMER, S.H. **Manual of the Flowering Plants of Hawaii**. 2. ed. Hawaii: University of Hawaii Press, 1990.

Agradecimentos

À FAPES, CNPq e CAPES.