

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo deste Relatório de Pós-Doutorado será disponibilizado somente a partir de **07/10/2026**.

FERDINANDO MARCOS LIMA SILVA

**EFEITO HERBICIDA DE NANOEMULSÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE EUCALIPTO
E CAPIM LIMÃO**

Relatório de Pós-doutorado realizado na
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto de Ciência e Tecnologia,
Sorocaba.

Supervisor: Prof. Dr. Leonardo Fernandes
Fraceto

Sorocaba

2024

RESUMO

Os defensivos agrícolas trazem grande preocupação na questão ambiental, pois muitos destes compostos podem afetar a vida, a saúde do homem, a qualidade dos solos e das águas, entre outros problemas, pois muitos destes compostos são persistentes e/ou recalcitrantes no ambiente. Novas tecnologias que visam reduzir a contaminação ambiental e trazer mais segurança na produção de alimentos são necessárias e urgentes. Diante disso, o uso de produtos naturais, como óleos essenciais aliados à modernas tecnologias, como a nanotecnologia, podem trazer grandes benefícios para o manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas. A nanotecnologia oferece oportunidades consideráveis para o desenvolvimento de produtos inovadores, desenvolvendo novas formulações que podem aumentar a eficácia, proteger contra degradação prematura e ao mesmo tempo permitir a redução na concentração do óleo essencial para o manejo de plantas daninhas. O objetivo deste trabalho é desenvolver formulações nanoencapsuladas contendo óleos essenciais visando obter um herbicida natural para controlar plantas daninhas em ambientes agrícolas. Foram desenvolvidas duas formulações nanoencapsuladas com dois óleos essenciais (Óleo Essencial 1 – OE1 e Óleo Essencial 2 – OE2), utilizando nanocapsula de zeína com alta eficiência de encapsulamento até os 210 dias após o preparo. Ambas formulações apresentaram efeito fitotóxico em bioensaio com *Lactuca sativa* e o OE2 nanoencapsulado apresentou efeito herbicida, controlando *Amaranthus hybridus* e *Eleusine indica* em pré e pós-emergência, com eficiência estatisticamente superior ao óleo essencial que não foi nanoencapsulado. Na agricultura esses tipos de formulações podem diminuir a contaminação do meio ambiente, pois utilizam uma menor quantidade de ativo necessário para controlar pragas e plantas daninhas, além do potencial de proteção deste ativo contra a rápida degradação e volatilização.

1. INTRODUÇÃO

A Agricultura, ao longo da história, desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento das civilizações, permitindo ao homem fixar-se em regiões férteis e deixasse sua vida nômade (GEBAUER; PRICE, 1992). No final da década de 1960 e início da década de 1970, a chamada “Revolução Verde” expandiu o uso da tecnologia no campo, por meio da utilização de defensivos agrícolas e fertilizantes químicos, máquinas agrícolas, melhoramento genético de sementes, gerando aumentos significativos de produção de alimentos e permitindo o rápido crescimento da população humana (SILVA; FALCHETTI, 2011; HENRIQUES, 2009). Recentemente surgiu o conceito de Agricultura 4.0, ou agricultura digital, que emprega as tecnologias mais modernas, como robótica, agricultura de precisão, internet das coisas e outras inovações visando o uso mais eficiente de insumos, redução dos custos de mão de obra, melhorar a qualidade e segurança do trabalho e reduzir impactos ao meio ambiente (MASSRUHÁ; LEITE, 2017).

A nanotecnologia está entre as inovações que contribuirão na transformação da agricultura, já que tem provocado revolução na ciência e na tecnologia nos mais diversos setores e pelo seu grande potencial de aplicação e ao desenvolvimento tecnológico por ela ocasionado (DURÁN et al, 2006). Essa nova ciência, tem caráter multidisciplinar e está sendo aplicada nas mais diversas áreas da pesquisa científica com gigantesco potencial de aplicação tecnológico em vários setores industriais (TOMA, 2005)

O desenvolvimento de práticas limpas, não tóxicas e ambientalmente aceitáveis, que podem ser benefícios trazidos pela nanotecnologia, estão dentro da chamada Química Verde, pois na agricultura, uma de suas principais finalidades é a de prolongar o tempo de ação, reduzir a toxicidade, diminuir a quantidade de agrotóxico utilizado sem diminuição da eficácia através da liberação gradual (SOUZA, 1999). Através da diminuição da lixiviação e da proteção do ingrediente ativo contra perdas por

fotodegradação e volatilização, as nanopartículas visam amenizar os problemas apresentados pelas formulações convencionais, sendo menos tóxicos e mais eficazes por um tempo maior através do sistema de liberação gradual (SOUZA, 1999; HOFMANN et al, 2020).

A aplicação da nanotecnologia para produção de nano emulsões através da utilização de bioativos naturais, como por exemplo, os óleos essenciais, pode ser promissora para a agricultura (OLIVEIRA et al., 2018). Aliar essa tecnologia com os conhecimentos provenientes dos conceitos alelopáticos, que trata a interação positiva ou negativa entre plantas vizinhas (RICE, 1984; IMATOMI et al., 2015), poderia contribuir para a descoberta de componentes químicos que atuariam como herbicidas naturais ou bioherbicidas. Inclusive, o óleo essencial de plantas aplicado em sementes de diversas espécies agrícolas vem sendo pesquisado pelo seu possível uso como inseticida, bactericida, fungicida e bioherbicida (MIRANDA et al., 2015).

Tanto no setor de produção agrícola quanto nas diversas áreas da ciência e tecnologia, a nanotecnologia vem sendo amplamente discutido e pesquisado e com a crescente demanda por alimentos no mundo e altos investimentos no setor agrícola, a descoberta e desenvolvimento de novas tecnologias buscando produtos mais eficientes e ambientalmente seguros podem resultar em significativos avanços para a agricultura moderna.

6 CONCLUSÕES

As nanocapsulas de zeína foram eficientes para o nanoencapsulamento dos óleos essenciais e as formulações nanoencapsuladas aumentaram e melhoraram o efeito herbicida em pré e pós-emergência dos óleos essenciais. Na agricultura esses tipos de formulações podem diminuir a contaminação do meio ambiente, pois utilizam uma menor quantidade de ativo necessário para controlar pragas e plantas daninhas, além do potencial de proteção deste ativo contra a rápida degradação e volatilização.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F.O.M.S.; OLIVEIRA, E.F.; PAULA, H.C.B.; DE PAULA, R.C.M. Chitosan/Cashew Gum Nanogels for Essential Oil Encapsulation. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, n. 4, p. 1277–1282, ago. 2012.

ALMARIE, A.A.; MAMAT, A.S.; WAHAB, Z. Allelopathic potential of *Cymbopogon citratus* L. against different weed species. **Ind Res J Pharm & Sci.**, v. 3, p. 324-330, 2016.

ANDREI, E. **Compêndio de Defensivos Agrícolas**. 8ªed., Andrei Editora, 2009.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils – a review. **Food Chem. Toxicol.** v. 46, p. 446–475, 2008.

BARNEY, J.N.; HAY, A.G.; WESTON, L.A. Isolation and characterization of allelopathic volatiles from mugwort (*Artemisia vulgaris*). **J. Chem. Ecol.**, v. 31, n. 2, p. 247-265, 2005.

BILIA, A.R.; GUCCIONE, C.; ISACCHI, B.; RIGHESCHI, C.; FIRENZUOLI, F.; BERGONZI, M.C. Essential Oils Loaded in Nanosystems: A Developing Strategy for a Successful Therapeutic Approach. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2014, p. e651593, 2014.

BRATOVCIC, A.; HIKAL, W.M.; SAID-AL AHL, H.A.H.; TKACHENKO, K.G.; BAESHEN, R.S.; SABRA, A.S.; SANY, H. Nanopesticides and Nanofertilizers and Agricultural Development: Scopes, Advances and Applications. **Open Journal of Ecology**. v. 11, p. 301-316, 2001.

BRITO, A. M. G. **Avaliação da atividade antileishmanial dos óleos essenciais das plantas *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf., *Eucalyptus citriodora* Hook., *Mentha arvensis* L., e *Mentha piperita* L.** Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) - Universidade Tiradentes, Aracajú, 75 p., 2007.

- CAMPOLO, O.; GIUNTI, G.; LAIGLE, M.; MICHEL, T.; PALMERI, V. Essential oil-based nano-emulsions: Effect of different surfactants, sonication and plant species on physicochemical characteristics. **Industrial Crops and Products**, v. 157, p. 112935, 2020.
- CHAIMOVITSH, D.; ABU-ABIED, M.; BELAUSOV, E.; RUBIN, B.; DUDAI, N.; SADOT, E. Microtubules are an intracellular target of the plant terpene citral. **The Plant Journal**. v. 61, p. 399–408, 2010.
- CHANDLER, D.; BAILEY, A.S.; TATCHELL, G.M.; DAVIDSON, G.; GREAVES, J.; GRANT, W.P. The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. **Philos Trans R Soc B Biol Sci**. v. 366, n. 1573, p. 1987–1998, 2011.
- CHANG, C.; WANG, T.; HU, Q.; LUO, Y. Caseinate-zein-polysaccharide complex nanoparticles as potential oral delivery vehicles for curcumin: Effect of polysaccharide type and chemical crosslinking. **Food Hydrocolloids**, v. 72, p. 254–262, 2017a.
- CHANG, C.; WANG, T.; HU, Q.; ZHOU, M.; XUE, J.; LUO, Y. Pectin coating improves physicochemical properties of caseinate/zein nanoparticles as oral delivery vehicles for curcumin. **Food Hydrocolloids**, v. 70, p. 143–151, 2017b.
- CHAUDHARI, A.K.; SINGH, V.K.; KEDIA, A.; DAS, S.; DUBEY, N.K. Essential oils and their bioactive compounds as eco-friendly novel green pesticides for management of storage insect pests: prospects and retrospects. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 15, p. 18918–18940, 2021.
- CHEN, H.; ZHANG, Y.; ZHONG, Q. Physical and antimicrobial properties of spray-dried zein–casein nanocapsules with co-encapsulated eugenol and thymol. **Journal of Food Engineering**, v. 144, p. 93–102, 2015.
- CHEN, J.; ZHENG, J.; MCCLEMENTS, D.J.; XIAO, H. Tangeretin-Loaded Protein Nanoparticles Fabricated from Zein/ β -Lactoglobulin: Preparation, Characterization, and Functional Performance. **Food Chemistry**, v. 158, p. 466–472, 2014.
- CHUACHAROEN, T.; SABLIOV, C.M. Stability and Controlled Release of Lutein Loaded in Zein Nanoparticles with and without Lecithin and Pluronic F127 Surfactants. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 503, p. 11–18, 2016.
- CHRISTOFFOLETI, P. J. Curvas de dose-resposta de biótipos resistente e suscetível de *Bidens pilosa* L. Aos herbicidas inibidores da ALS. **Sci. Agric.**, v. 59, n. 3, p. 513-519, 2002.
- DA-COSTA, J.T.; FORIM, M.R.; COSTA, E.S.; DE-SOUZA, J.R.; MONDEGO, J.M.; BOIÇA JR, A.L. Effects of diferente formulations of nem oil-based products on control *Zabrotes subfasciatus* (Boheman, 1833) (Coleoptera: Bruchidae) on beans. **Journal of Stored Products Research**. v. 56, p. 49-53, 2014.
- DAYAN, F.E.; DUKE, S.O. Natural products for weed management in organic farming in the USA. **Outlooks Pest Manag.** v. 21, p. 156–160, 2010.

DAYAN, F.E.; ROMAGNI, J.G.; DUKE, S.O. Investigating the mode of action of natural phytotoxins. **J Chem Ecol.** v. 26 p. 2079–2094, 2000.

DEPUYDT, S.; HARDTKE, C.S. Hormone signalling crosstalk in plant growth review regulation. **Current Biology.** v. 21, p. 365-373, 2011.

DUDAI, N.; POLJAKOFF-MAYBER, A.; MAYER, A.M.; PUTIEVKY, E.; LERNER, H.L. Essential oils as allelochemicals and their potential use as bioherbicides. **J. Chem. Ecol.** v. 25, p. 1079–1089, 1999

DUKE, S.O.; DAYAN, F.E.; RIMANDO, A.; SCHRADER, K.K.; ALIOTTA, G.; OLIVA, A.; ROMAGNI, J.G. Chemicals from nature for weed management. **Weed Sci.** v. 50, p. 138–151, 2002.

DURÁN, N.; MATTOSO, L.H.C.; MORAIS, P.C.; **Nanotecnologia: Introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação.** Artliber Editora Ltda.: São Paulo, 2006.

ESTANISLAU, A.A.; BARROS, F.A.S.; PEÑA, A.P.; SANTOS, S.C.; FERRI, P.H.; PAULA, J. R. Composição química e atividade antibacteriana dos óleos essenciais de cinco espécies de Eucalyptus cultivadas em Goiás. **Revista Brasileira de Farmacognosia,** Curitiba, v. 11, n. 2, p. 95-100, 2001.

FAO/WHO, **Expert meeting on the application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors: potential food safety implications: Meeting Report.** World Health Organization, 129 p., 2010.

FERRAZ, J.B.S.; BARATA, L.E.S.; SAMPAIO, P.B.; GIMARÃES, G.P. Perfumes da floresta Amazônica: em busca de uma alternativa sustentável. **Ciência e Cultura,** v. 61, n. 3, p. 45-53, 2009.

FERREIRA, A.G.; BORGUETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado.** Porto Alegre: Artmed, 323p., 2004.

GAHUKAR, R.T.; DAS, R.K. Plant-derived nanopesticides for agricultural pest control: challenges and prospects. **Nanotechnology for Environmental Engineering.** v. 5, p 1-3, 2020.

GEBAUER, A.B.; PRICE, T.D. **Foragers to Farmers: An Introduction. Transitions to Agriculture in Prehistory.** Madison, Prehistory Press, p. 1-10, 1992.

HENRIQUES, F.S.A Revolução Verde e a biologia molecular. **Revista de Ciências Agrárias.** v. 32, n. 2, p. 245–254, 2009.

HE, X.; DENG, H.; HWANG, H. The current application of nanotechnology in food and agriculture. **J Food Drug Anal.** v. 27, p. 1–21, 2019.

HOFMANN, T.; LOWRY, G.V.; GHOSHAL, S.; TUFENKJI, N.; BRAMBILLA, D.; DUTCHER, J.R.; GILBERTSON, L.M.; GIRALDO, J.P.; KINSELLA, J.M.; LANDRY, M.P.; LOVELL, W.; NACCACHE, R.; PARET, M.; PEDERSEN, J.A.; UNRINE, J.M.; WHITE, J.C.; WIKINSON, K.J. Technology readiness and overcoming barriers to

sustainably implement nanotechnology-enabled plant agriculture. **Nat Food** v. 1, p. 416–425, 2020.

HU, K.; MCCLEMENTS, D.J. Fabrication of surfactant-stabilized zein nanoparticles: A pH modulated antisolvent precipitation method. **Food Research International**. v. 64, p. 329–335, 2014.

ISMAN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop Protection**, v. 19, n. 10, p. 603-608, 2000.

IMATOMI, M.; NOVAES, P.; MIRANDA, M.A.F.M.; GUALTIERI, S.C.J. Phytotoxic effects of aqueous leaf extracts of four Myrtaceae species on three weeds. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 37, n. 2, p. 241-248, 2015.

JACQUES, M. T.; OLIVEIRA, J. L.; CAMPOS, E. V. R.; FRACETO, L. F.; ÁVILA, D. S. Safety Assessment of Nanopesticides Using the Roundworm *Caenorhabditis Elegans*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 139, p. 245–253, maio 2017.

JUAN JIMÉNEZ-OSORNIO, F.M.V.Z.; KUMAMOTO, J.; WASSER, C. Allelopathic activity of *Chenopodium ambrosioides* L. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 24, n. 3, p. 195-205, 1996.

KAH, M.; HOFMANN, T. Nanopesticide research: current trends and future priorities. **Environ Int**. v. 63. p. 224–235, 2014.

KOHLI, R.K. Allelopathic potential of *Eucalyptus*. Project Report, MABDOEN Project, 1990.

KOITABASHI, R.; SUZUKI, T.; KAWAZU, T.; SAKAI, A.; KUROIWA, H.; KUROIWA, T. 1,8-Cineole inhibits root growth and DNA synthesis in the root apical meristem of *Brassica campestris* L. **Journal of Plant Research**. v. 110, p. 1-6, 1997.

KONG, C.; HU, F.; XU, X.; ZHANG, M.; LIANG, W. Volatile allelochemical in the *Agerantum conyzoides* intercropped citrus orchard and their effects on mites *Amblyseus newsami* and *Panonychus citri*. **J. Chem. Ecol.**, v. 31, n. 9, p. 2193-2203, 2005.

KUMAR, S.; CHAUHAN, N.; GOPAL, M.; KUMAR, R.; DILBAGHI, N. Development and evaluation of alginate–chitosan nanocapsules for controlled release of acetamiprid. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 81, p. 631-637, 2015.

MARUYAMA, C.R.; GUILGER, M.; PASCOLI, M.; BILESHY-JOSÉ, M. Nanoparticles based on chitosan as carriers for the combined herbicides imazapic and imazapyr. **Scientific Reports**. v. 6, n. 19768, 2016.

MASSRUHÁ, S.M.F.S.; LEITE, M.A.A. Agro 4.0 – Rumo à agricultura digital. **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: Mobilizar o Conhecimento para Alimentar o Brasil**. v. 1, p. 28-35, 2017.

MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L. **Controle biológico**. Embrapa Meio Ambiente, v. 1, 262 p., 1998.

- MIRANDA, C.A.S.F.; CARDOSO, M.G.; CARVALHO, M.L.M.; FIGUEIREDO, A.C.S.; ANDRADE, J. Chemical characterisation and allelopathic potential of essential oils from leaves and rhizomes of white ginger. **Revista Ciência Agronômica**. v. 46, n. 3, p. 555-562, 2015.
- MORA-HUERTAS, C.E.; FESSI, H.; ELAISSARI, A. Polymer-based nanocapsules for drug delivery. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 385, n. 1, p. 113–142, 2010.
- NEGRELLE, R.R.B.; GOMES, E.C. *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf: chemical composition and biological activities, **Rev. Bras. Pl. Med.** v.9, n.1, p. 80-92, 2007.
- 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, n. 5, p. 1187-1202, 2005.
- OLIVEIRA, J.L.; CAMPOS, E.V.R.; FRACETO, L.F. Recent developments and challenges for nanoscale formulation of botanical pesticides for use in sustainable agriculture, **J. Agric. Food Chem.** v. 66, p. 8898-8913, 2018.
- OLIVEIRA, J.L.; CAMPOS, E.V.R.; PEREIRA, A.E.S.; PASQUOTO, T.; LIMA, R.; GRILLO, R.; ANDRADE, D.J.; SANTOS, F.A.; FRACETO, L.F.. Zein Nanoparticles as Eco-Friendly Carrier Systems for Botanical Repellents Aiming Sustainable Agriculture. **J. Agric. Food Chem**, v. 66, p.1330–1340, 2018.
- OLIVEIRA, J.L.; CAMPOS, E.V.R.; GERMANO-COSTA, T.; LIMA, R.; VECHIA, J.F.D.; SOARES, S.T.; ANDRADE, D.J.; GONÇALVES, K.C.; DO NASCIMENTO, J.; POLANCZYK, R.A.; FRACETO, L.F. Association of Zein Nanoparticles with Botanical Compounds for Effective Pest Control Systems. **Pest Management Science**, v. 75, n. 7, p. 1855–1865, 2019.
- OOTANI, M.A.; AGUIAR, R.W.S.; MELLO, A.V.; DIDONET, J.; PORTELLA, A.C.F.; NASCIMENTO, I.R. Toxicidade de óleos essenciais de eucalipto e citronela sobre *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). **Bioscience Journal**. v. 27, n. 4, p. 609-618, 2011.
- ÖZKARA, A.; AKYIL, D.; KONUK, M. (2016) Pesticides, environmental pollution, and health. In: **Environmental health risk-hazardous factors to living species**, LARRAMENDY, M.L.; SOLONESKI, S., IntechOpen, 2016.
- PACHLATKO, J.P. Natural products in crop protection. **Chimia**. v. 52, p. 29– 47, 1998.
- PATEL, A.; HU, Y.; TIWARI, J. K.; VELIKOV, K. P. Synthesis and Characterisation of Zein Curcumin Colloidal Particles. **Soft Matter**. v. 6, n. 24, p. 6192–6199, 2010.
- PAULA, H.C.B.; SOMBRA, F.M.; ABREU, F.O.M.S.; PAULA, R.C.M. *Lippia sidoides* essential oil encapsulation by angico gum/ chitosan nanoparticles. **J. Braz. Chem. Soc.** v. 21, p. 2359-2366, 2010.
- PEREIRA, A.E.S.; GRILLO, R.; MELLO, N.F.S.; ROSA, A.H.; FRACETO, L.F. Application of poly (epsilon-caprolactone) nanoparticles containing atrazine herbicide as

an alternative technique to control weeds and reduce damage to the environment. **Journal of Hazardous Materials**. v. 268, p. 207–215, 2014.

PIMENTEL, D. Amounts of pesticides reaching target pests: environmental impacts and ethics. **J Agric Environ Ethics**. v. 8, p. 17–29, 1995.

POLOVA, M.; VICHERKOVA, M. Leaf diffusibility changes of bean and sunflower plants treated with essential oil vapours. **Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun. Biol**. v. 16, p. 119–128, 1986.

POONPAIBOONPIPAT, T.; PANGNAKORN, U.; SUVUNNAMEK, U.; TEERARAK, M.; CHAROENYING, P.; LAOSINWATTANA, C. Phytotoxic effects of essential oil from *Cymbopogon citratus* and its physiological, **Industrial Crops and Products**. v. 41, p. 403-407, 2013.

PREISLER, A.C.; PEREIRA, A.E.S.; CAMPOS, E.V.R.; DALAZEN, G.; FRACETO, L.F.; OLIVEIRA, H.C. Atrazine nanoencapsulation improves pre-emergence herbicidal activity against *Bidens pilosa* without enhancing long-term residual effect on *Glycine max*. **Pest Manag Sci**. v. 76 n. 1, p. 141–149, 2020.

RECHENMANN, C.R. Cellular Responses to auxin: division versus expansion. **Cold Spring Harb Perspect Biol**. v. 2, a001446, 2010.

REVATHI, K.; KUMAR, C.A.; THAMIZHAVAHAN K. Combined antimicrobial activity of lemon grass oil and Tulasi oil. **Int. J. Preclinical Pharm. Res**. v. 3, n. 2, p. 79-81, 2012.

RICE, E.L. **Allelopathy**. 2. ed. New York: Academic Press. 422p. 1984.

ROMAGNI, J.G.; ALLEN, S.N.; DAYAN, F.E. Allelopathic effects of volatile cineoles on two weedy plant species. **Journal of Chemical Ecology**. v. 26, p. 303–313, 2000.

ROSA, C.G.; MACIEL, M.V.O.B.; CARVALHO, S.M.; MELO, A.P.Z.; JUMMES, B.; SILVA, T.; MARTELLI, S.M.; VILLETTI, M.A.; BERTOLDI, F.C.; BARRETO, P.L.M. Characterization and evaluation of physicochemical and antimicrobial properties of zein nanoparticles loaded with phenolics monoterpenes. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 481, p. 337–344, 2015.

SALAMA, D.M.; OSMAN, S.A.; ABD EL-AZIZ, M.E.; ABD ELWAHED, M.S.A.; SHAABAN, E.A. Effect of Zinc Oxide Nanoparticles on the Growth, Genomic DNA, Production and the Quality of Common Dry Bean (*Phaseolus vulgaris*). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. v. 18, 101083, 2019.

SANTIAGO, E.F.; PONTES, M.S.; ARRUDA, G.J.; CAIRES, A.R.L.; COLBECK, I.; MALDONADO- RODRIGUEZ, I.; GRILLO, R. Understanding the Interaction of Nanopesticides with Plants. In *Nanopesticides: From Research and Development to Mechanisms of Action and Sustainable Use in Agriculture*, edited by FRACETO, L.F.; CASTRO, V.L.S.S.; GRILLO, R.; ÁVILA, D.; OLIVEIRA, H.C.; LIMA, R. **Switzerland Springer Nature**, p. 69-109, 2020.

SARLAK, N.; TAHERIFAR, A.; SALEHI, F. Synthesis of nanopesticides by encapsulating pesticide nanoparticles using functionalized carbon nanotubes and

- application of new nanocomposite for plant disease treatment. **J Agric Food Chem.** v. 62, p. 4833–4838, 2014.
- SEKHON, B.S. Nanotechnology in Agri-Food Production: An Overview. **Nanotechnology Science and Applications.** v. 7, p. 31-53, 2014.
- SILVA, R.T.P.; FALCHETTI, S.A. Da revolução agrícola ao desenvolvimento sustentável e os princípios do ambientalismo no Brasil. **VIII Convibra Administração-Congresso Virtual Brasileiro de Administração,** 2011.
- SINGH, H.P.; BATISH, D.R.; KAUR, S.; RAMEZANI, H.; KOHLI, R.K. Comparative phytotoxicity of four monoterpenes against *Cassia occidentalis*. **Annals of Applied Biology.** v. 141, p. 111–116, 2002.
- SINGH, H.P.; BATISH, D.R.; SETIA, N.; KOHLI, R.K. Herbicidal activity of volatile oils from *Eucalyptus citriodora* against *Parthenium hysterophorus*. **Annals of Applied Biology.** v. 146, p. 89-94, 2005.
- SOUZA FILHO, A.P.S.; VASCONCELOS, M.A.M.; ZOGHBI, M.G.B., CUNHA, R.L. Efeitos potencialmente alelopáticos dos óleos essenciais de *Piper hispidinervium* C. DC. e *Pogostemon heyneanus* Benth sobre plantas daninhas. **Acta Amazônica,** v. 39, p. 389-396, 2009.
- SOUSA, G.F.M.; GOMES, D.G.; CAMPOS, E.V.R.; OLIVEIRA, J.L.; FRACETO, L.F.; STOLF-MOREIRA, R.; OLIVEIRA, H.C. Post-emergence herbicidal activity of nanoatrazine against susceptible weeds. **Front. Environ. Sci.** v. 6, n. 12, 2018.
- SOUZA, J.A. **Estudo da biodegradação do ácido 2,4-diclorfenoxiacético em formulações de liberação controlada.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Campinas, 1999.
- STREIBIG, J.C. Herbicide bioassay. **Weed Res.,** v.28, n.6, p.479-484, 1988.
- TOMA, H.E. Interfaces e organização da pesquisa no Brasil: da Química à nanotecnologia. **Química Nova.** v.28, p. 48-51, 2005.
- TOMAZ, M.A. Composição química e atividade alelopática do óleo essencial de eucalipto. **Biosci. J.** v. 30, n. 2, p. 475-483, 2014.
- TWORKOSKI, T. Herbicide effects of essential oils, **Weed Science.** v. 50, p. 425-431, 2002.
- UREMIS I.; ARSLAN M.; SANGUN M.K. Herbicidal activity of essential oils on the germination of some problem weeds. **Asian Journal of Chemistry,** v. 21, 4, p. 3199-3210, 2009.
- VICHERKOVA, M.; POLOVA, M. Effect of essential oil vapours of different concentrations upon leaf transpiration of bean and sunflower. **Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun. Biol.** v. 16, p. 109–118, 1986.
- VIEIRA, I.G. **Estudos caracteres silviculturais e de produção de óleos essenciais de progênies de *Corymbia citriodora* (Hook) K.D. Hill & L.A.S. Johnson procedente de**

Anhembi SP Brasil, Ex. Atherton QLD – Austrália. Piracicaba: Esalq (Dissertação de mestrado), 80p., 2004.

WANDSCHEER, A.C.D.; PASTORINI, L.H. Interferência alelopática de *Raphanus raphanistrum* L. sobre a germinação de *Lactuca sativa* L. e *Solanum lycopersicon* L. **Ciência Rural**, v. 38, p. 949-953, 2008.

WANG, L.; ZHANG, Y. Eugenol Nanoemulsion Stabilized with Zein and Sodium Caseinate by Self-Assembly. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 14, p. 2990–2998, 2017.

WIPO - **World Intellectual Property Organization**, 2022, acessado em 14/11/2022 em: < <https://patentscope.wipo.int/search/pt/search.jsf>>

WU, Y.; LUO, Y.; WANG, Q. Antioxidant and antimicrobial properties of essential oils encapsulated in zein nanoparticles prepared by liquid–liquid dispersion method. **LWT - Food Science and Technology**. v. 48, n. 2, p. 283–290, 2012.

XIANG, Y.; ZHANG, G.; CHI, Y.; CAI, D.; WU, Z. Fabrication of a controllable nanopesticide system with magnetic collectability. **Chem Eng J**. v. 328, p. 320–330, 2017.

ZHANG, Y.; NIU, Y.; LUO, Y.; GE, M.; YANG, T.; YU, L.; WANG, Q. Fabrication, characterization and antimicrobial activities of thymol-loaded zein nanoparticles stabilized by sodium caseinate–chitosan hydrochloride double layers. **Food Chemistry**, v. 142, p. 269–275, 2014.