

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 26/04/2026

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until April 26, 2026

RODRIGO DONIZETI FARIA

ATIVIDADE PROTETORA DE GRÃOS DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM *Zabrotes subfasciatus* E *Aspergillus nomius*

Botucatu

2024

RODRIGO DONIZETI FARIA

ATIVIDADE PROTETORA DE GRÃOS DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM *Zabrotes subfasciatus* E *Aspergillus nomius*

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp,
Câmpus de Botucatu, para obtenção
do título de Doutor em Agronomia
(Proteção de Plantas)

Orientador: Carlos Gilberto Raetano

Botucatu

2024

F224a Faria, Rodrigo Donizeti
Atividade protetora de grãos de óleos essenciais em
Zabrotes subfasciatus e Aspergillus nomius / Rodrigo Donizeti
Faria. -- Botucatu, 2024
100 p. : tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Carlos Gilberto Raetano

1. Entomologia. 2. Inseticidas botânicos. 3. Pragas de grãos
armazenados. 4. Controle alternativo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas,
Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

ATIVIDADE PROTETORA DE GRÃOS DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM *Zabrotes subfasciatus* E
Aspergillus nomius

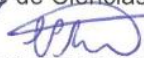
AUTOR: RODRIGO DONIZETI FARIA

ORIENTADOR: CARLOS GILBERTO RAETANO

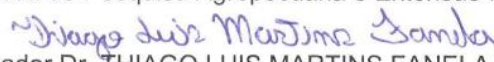
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia
(Proteção de Plantas), pela Comissão Examinadora:



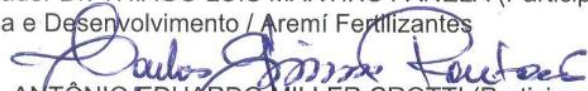
Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO (Participação Presencial)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu UNESP



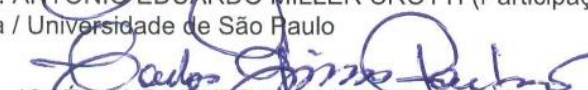
Pesquisador Dr. LEANDRO DO PRADO RIBEIRO (Participação Presencial)
/ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina



Pesquisador Dr. THIAGO LUIS MARTINS FANELA (Participação Presencial)
Pesquisa e Desenvolvimento / Aremi Fertilizantes



Prof. Dr. ANTÔNIO EDUARDO MILLER CROTTI (Participação Virtual)
Química / Universidade de São Paulo



Prof. Dr. JOSÉ DJAIR VENDRAMIM (Participação Virtual)
Entomologia e Acarologia / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Botucatu, 26 de abril de 2024.

Ao meu eterno professor e amigo,

Edson Luiz Lopes Baladin,

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, Nossa Senhora Aparecida e Beato Donizetti, pela saúde, inteligência e discernimento na minha vida profissional e pessoal.

Aos meus pais, Zélia Ap. Fogatti Rossi Faria e Albertino Ap. Faria, por todo apoio e amor incondicional na minha vida.

Aos meus irmãos Rafael D. Faria e Camila Ap. Faria, pelo incentivo aos estudos e por sempre acreditarem no meu potencial.

Ao professor, ex-orientador e amigo, Dr. Edson Luiz Lopes Baldin, por todos os ensinamentos, exemplos profissionais e pessoais, conselhos, carinho com os alunos e inspiração na execução dos trabalhos. Sempre me lembrarei de tudo que fez por mim com imensa gratidão.

Ao professor e orientador Dr. Carlos Gilberto Raetano, que desde o início nos deu todo o suporte necessário para a finalização do projeto e palavras de apoio, além do exemplo profissional e pessoal passados em sala de aula e em conversas.

Ao amigo Dr. Leandro do Prado Ribeiro por todo apoio na elaboração e incentivo na execução do projeto, com ideias e auxílio nas análises, redação e correções.

Ao professor Dr. José Djair Vendramim, por ter aceito participar da banca de defesa de doutorado, além de sua importante contribuição com estudos na área de inseticidas botânicos no Brasil, que auxiliou na elaboração dos métodos empregados no estudo e na redação dessa tese.

Ao professor Dr. Antônio Eduardo Miller Crotti por ter aceito participar da banca de defesa do doutorado e pelas análises químicas dos óleos essenciais.

Ao amigo Dr. Thiago Martins Fanela por aceitar participar da banca de defesa de doutorado e pelo auxílio nas análises estatísticas dos experimentos.

Ao professor Dr. Eduardo Micotti da Glória pelo auxílio nos ensaios com as micotoxinas.

Aos amigos do Laboratório de Resistência de Plantas a Insetos e Plantas Inseticidas (LARESPI), em especial ao Vinícius, Muriel, Matheus, Thais, Maria Clézia, Rafael, Alisson, Isabella, Yago, Aline, Felipe e Diogo pelo auxílio nos trabalhos, companheirismo e nos momentos de descontração no laboratório.

Aos amigos da pós-graduação Lisandro e Lucas pelo apoio e companheirismo.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Proteção de Plantas.

A todos que me ajudaram de modo direto ou indireto na realização deste Curso de doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos de doutorado (Código de financiamento 001).

“The scientific man does not aim at an immediate result. He does not expect that his advanced ideas will be readily taken up. His work is like that of the planter for the future. His duty is to lay the foundation for those who are to come, and point the way”.

TESLA, N. Radio power will revolutionize the world.
Modern Mechanix and Inventions, p. 261-266, 1934.

RESUMO

Após a colheita, o feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) necessita do armazenamento dos grãos secos em silos até o momento da comercialização. No entanto, medidas sanitárias são necessárias para evitar surtos de insetos-praga e microrganismos detritívoros. Entre as pragas do feijão armazenado destaca-se *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) (Coleoptera: Crysomelidae: Bruchinae), responsável por danos diretos nas sementes e o favorecimento do desenvolvimento de fungos de armazenamento. Portanto, estudos com novas soluções ambientalmente amigáveis são imprescindíveis para o manejo integrado de pragas (MIP) de grãos armazenados. Alguns óleos essenciais (OEs) têm ação comprovada contra insetos-praga de diversas ordens e é compatível com as táticas abordadas pelo MIP. Neste sentido, o presente estudo, foi dividido em dois capítulos e teve por objetivos avaliar a bioatividade de cinco óleos essenciais [*Cordia verbanacea* DC. (Boraginaceae), *Elionurus latiflorus* (Nees Ex Steud.) Hack (Poaceae), *Dysphania ambrosioides* L. (Amaranthaceae), *Pelargonium graveolens* L'Hér (Geraniaceae) e *Piper callosum* Ruiz & Pav. (Piperaceae)] sobre *Z. subfasciatus* em diferentes métodos de exposição (fumigação, aplicação tópica e contato residual) e o comportamento de caminhamento do inseto (distância percorrida e velocidade). Com exceção dos óleos essenciais de *D. ambrosioides*, *P. graveolens* e *P. callosum* foi avaliada a bioatividade sobre *Aspergillus nomius* (Ascomycota) na produção de micotoxinas B₁, B₂, G₁ e G₂ e adicionalmente avaliada a mistura binária (1:1, v v⁻¹) dos mesmos. Todos os óleos essenciais apresentaram toxicidade para o caruncho-do-feijão nos diferentes métodos de exposição e foi possível determinar as concentrações e doses letais que ocasionaram a mortalidade 50% e 90% (CL₅₀, CL₉₀, DL₅₀ e DL₉₀) dos insetos. Quanto ao primeiro capítulo o OE de *E. latiflorus* apresentou maior toxicidade quando comparado com *C. verbanacea*. Para o comportamento de caminhamento o *E. latiflorus* apresentou efeito arrestante nas fêmeas. As análises de isoblograma indicaram efeito aditivo na mistura binária dos óleos essenciais para os métodos de exposição via contato residual, aplicação tópica e antagonista para fumigação. O OE de *E. latiflorus* inibiu o crescimento radial e a produção das aflotoxinas B₁, B₂, G₁ e G₂. No segundo capítulo, o OE de *D. ambrosioides* apresentou maior toxicidade aos adultos quando comparado com OE de *P. graveolens* e *P. callosum* em ambos os

métodos de exposição. Os OEs de *P. graveolens* e *P. callosum* influenciaram negativamente na oviposição e emergência dos adultos. Em adição, ambos os OEs influenciaram no comportamento de caminhada, destacando-se o OE de *D. ambrosioides* que apresentou potente efeito repelente para adultos de *Z. subfasciatus*. Os resultados encontrados neste estudo contribuem para elucidar os efeitos dos óleos essenciais nos organismos alvo, além da elaboração de novas soluções alternativas para a proteção de grãos e o manejo de insetos-praga em armazéns.

Palavras-chave: caruncho-do-feijão; controle alternativo; MIP; óleos essenciais.

ABSTRACT

After harvest, common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) require dry grain storage in warehouses until they are sold. However, sanitary measures are necessary to prevent outbreaks of insect pests and detritivorous microorganisms. Among the pests of stored beans, *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) (Coleoptera: Crysomelidae: Bruchinae) which is responsible for direct damage to the seeds and favoring the development of storage fungi. Therefore, studies with new eco-friendly solutions are essential for integrated pest management (IPM) of stored grains. Some essential oils (EOs) have proven action against insect pests of various orders and are compatible with the tactics addressed by IPM. In this sense, the present study was divided into two chapters and aimed to evaluate the bioactivity of five essential oils [*Cordia verbenacea* DC. (Boraginaceae), *Elionurus latiflorus* (Nees Ex Steud.) Hack (Poaceae), *Dysphania ambrosioides* L. (Amaranthaceae), *Pelargonium graveolens* L'Hér (Geraniaceae) and *Piper callosum* Ruiz & Pav. (Piperaceae)] on *Z. subfasciatus* in different exposure methods (fumigation, topical application and residual contact) and the walking behavior of the insect (distance traveled and speed). Except for the essential oils of *D. ambrosioides*, *P. graveolens* and *P. callosum*, the bioactivity on *Aspergillus nomius* (Ascomycota) in the production of mycotoxins B1, B2, G1 and G2 was evaluated and additionally the binary mixture (1:1, v v⁻¹) of these was evaluated. All essential oils showed toxicity to the Mexican bean weevil in the different exposure methods and it was possible to determine the lethal concentrations and doses that caused 50% and 90% mortality (LC₅₀, LC₉₀, LD₅₀ and LD₉₀) of the insects. Regarding the first chapter, the EO of *E. latiflorus* showed greater toxicity when compared to *C. verbanacea*. For walking behavior, *E. latiflorus* showed an arresting effect on females. The isobologram analyses indicated an additive effect in the binary mixture of essential oils for the exposure methods for residual contact, topical application and antagonist for fumigation. The EO of *E. latiflorus* inhibited radial growth and the production of aflatoxins B1, B2, G1 and G2. In the second chapter, the EO of *D. ambrosioides* showed greater toxicity to adults when compared to EO of *P. graveolens* and *P. callosum* in both exposure methods. The EOs of *P. graveolens* and *P. callosum* negatively influenced oviposition and adult emergence. In addition, both EOs influenced walking behavior, with *D. ambrosioides* standing out as an EO that showed a

potent repellent effect on *Z. subfasciatus* adults. The results found in this study contribute to elucidate the effects of essential oils on target organisms, in addition to developing new alternative solutions for grain protection and insect pest management in warehouses.

Keywords: alternative control; essential oils; IPM; Mexican bean weevil.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	17
CHAPTER 1	
ESSENTIAL OILS FROM <i>Cordia verbenacea</i> AND <i>Elionurus</i>	
<i>latiflorus</i> AND THEIR BINARY MIXTURE: BIOACTIVITY AGAINST	
THE MEXICAN BEAN WEEVIL AND AN AFLATOXIN-PRODUCING	
FUNGAL SPECIES.....	24
1.1 INTRODUCTION.....	25
1.2 MATERIAL AND METHODS.....	28
1.3 RESULTS.....	34
1.4 DISCUSSION.....	36
1.5 CONCLUSIONS.....	40
REFERENCES.....	41
CHAPTER 2	
GRAIN-PROTECTANT ACTION OF ESSENTIAL OILS AND	
WALKING RESPONSES OF <i>Zabrotes subfasciatus</i> EXPOSED TO	
SELECTED ESSENTIAL OILS.....	61
2.1 INTRODUCTION.....	61
2.2 MATERIAL AND METHODS.....	63
2.3 RESULTS.....	69
2.4 DISCUSSION.....	72
2.5 CONCLUSIONS.....	76
REFERENCES.....	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
REFERÊNCIAS.....	97

INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos alimentos mais consumidos em todo o mundo por ser rico em proteínas. Os grãos podem ser consumidos na forma de vagens frescas ou na forma seca (FAO, 2024). Devido ao crescimento constante da população mundial, torna-se imprescindível aumentar a produção de alimentos, a fim de suprir toda a demanda no mercado. Desse modo, os cuidados com o período pós-colheita dos alimentos assumem grande importância, pois têm a finalidade de diminuir as perdas e manter características quantitativas e qualitativas desejáveis para o consumo final (Lorini *et al.*, 2015). Dentre os problemas fitossanitários comuns durante o armazenamento, destacam-se os insetos-praga, os quais têm o potencial de reduzir a qualidade e vigor dos grãos e inviabilizar o consumo ou para processamento industrial (Mingotte *et al.*, 2013).

No Brasil, o caruncho *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann, 1833) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) tem grande relevância em feijão armazenado e é considerado praga primária. Essa espécie é originária das Américas Central e do Sul, e é hospedeiro primário de espécies ancestrais selvagens de *Phaseolus lunatus* L. e *P. vulgaris* (Dendy; Credland, 1991). Devido ao rápido estabelecimento e contínua reprodução, o inseto disseminou-se por meio do comércio de grãos e sementes nas regiões tropicais e subtropicais no mundo, caracterizando-se como praga cosmopolita (Aebi *et al.*, 2004).

As larvas de *Z. subfasciatus* são curculioniformes, de coloração branco-leitosa, dotadas de mandíbulas desenvolvidas, as quais são capazes de perfurar os cotilédones do grão de feijão já no primeiro instar, onde passam por quatro instares até a fase de pupa. As pupas apresentam de 2,5 a 3,5 mm de comprimento e 1,5 a 2,0 mm de largura e possuem coloração branco-leitosa. Nessa fase, é possível realizar a sexagem a partir do último segmento abdominal, retilíneo nas fêmeas e arqueado nos machos (Ferreira, 1960; Hill, 2002).

Os machos adultos de *Z. subfasciatus* medem em torno de 1,8 mm de comprimento, e pesam 1,7 mg; as fêmeas medem 2,5 mm, pesam 3 mg e têm coloração castanho-escuro, com manchas claras no pronoto fortemente pubescente. É possível realizar a separação dos sexos, uma vez que essa espécie apresenta acentuado dimorfismo sexual (Ferreira, 1960). As fêmeas exibem uma mancha clara triangular na parte posterior da cabeça, outra da

mesma forma próxima ao escutelo e duas outras nos ângulos do pronoto, enquanto, nos machos ocorre apenas a mancha pré-escutelar. Os adultos emergem dentro do grão e são capazes de acasalar após 15 minutos, reiniciando a infestação (Southgate, 1978; Athié; De Paula, 2002).

Os ovos são arredondados, medindo de 0,46 a 0,60 mm de comprimento por 0,44 a 0,50 mm de largura. As fêmeas depositam os ovos na superfície dos grãos, de modo que ficam aderidos. Os ovos férteis são opacos e os inférteis são translúcidos (Ferreira, 1960; Hill, 2002). O ciclo total dessa espécie varia de 23 a 36 dias, dependendo das condições de temperatura e umidade em que o inseto está confinado. Segundo Ferreira (1960) o período total de desenvolvimento de *Z. subfasciatus* é de 36 dias, à temperatura de 27°C e umidade relativa de 75% (Ferreira, 1960). Outros autores reportaram o ciclo de 23 a 33 dias sob a temperatura de 32°C e umidade relativa de 70% (Carvalho; Rosseto, 1968).

Os danos diretos são caracterizados pela penetração das larvas logo após a eclosão e abertura de galerias levando a perda do peso dos grãos, redução da qualidade nutricional e do poder germinativo das sementes. Além disso, os danos indiretos associados são o favorecimento da entrada de organismos oportunistas (p.ex.: fungos e ácaros), conferindo aos grãos sabor indesejável e inviabilizando o consumo (Vieira, 1967; Pereira, 1993). As perdas ocasionadas por pragas de grãos armazenados podem chegar até 9% em países desenvolvidos e 20% ou mais em países subdesenvolvidos (Pimentel, 1991).

Os silos de armazenamento de grãos são ambientes ideais para o desenvolvimento de artrópodes-praga, principalmente quando combinados com a presença de grãos que são quebrados durante o processo de transporte (Phillips; Throne, 2010). Assim, é obrigatória a adoção de práticas de manejo que sigam normas de segurança alimentar, uma vez que produtos, em sua maioria, já estão prontos para o consumo final. As estratégias empregadas no manejo integrado de pragas (MIP) são técnicas já fundamentadas e desempenham um papel importante no controle de insetos-praga nas mais diversas culturas exploradas em todo o mundo (Kogan, 1998).

Os métodos físicos foram as primeiras técnicas empregadas no manejo de pragas de armazéns e consistem na manipulação de fatores físicos do ambiente com o intuito de deixar o nível populacional do inseto em um nível tolerável ou eliminá-lo (Brooker; Bakker-Arkema; Hall, 1992). Os métodos físicos

são: controle de temperatura, umidade relativa do ar, atmosfera controlada (CO₂, O₂, N₂), uso de pós inertes na dessecação (p. ex.: terra de diatomáceas), remoção física, radiação, luz e som. Esses métodos podem ser utilizados de forma isolada ou conjunta (Lorini *et al.*, 2015).

Os métodos de controle químico consistem no uso de inseticidas registrados para aplicação em armazéns e a adoção desta solução de manejo deve ser de forma para complementar outros métodos de controle, visando minimizar os possíveis resíduos nos grãos (Faroni; Silva, 2008). O método químico pode ser curativo ou preventivo e realizado após os grãos serem limpos, secos e expurgados. Quando o período de armazenamento for superior a 60 a 90 dias pode-se fazer o controle preventivo dos grãos ou sementes. Nesse caso, o controle é realizado por meio da aplicação de inseticidas na forma líquida sobre os grãos, onde passam por esteira transportadora e é realizado a aplicação, garantindo que todos os grãos recebam o tratamento com o inseticida de forma homogênea (Lorini *et al.*, 2015). Os ingredientes ativos mais utilizados em armazéns para aplicação direta nos grãos são do grupo químico dos piretroides (deltametrina e bifentrina) e organofosforados (pirimifós-metílico) (AGROFIT, 2024). Adicionalmente, quando os insetos já estão instalados no armazém é necessário o tratamento curativo por meio de expurgo ou fumigação, que consiste na eliminação dos agentes indesejáveis por meio do uso de gás (fluoreto de sulfúrio e fosfina). É necessário seguir as normas de segurança recomendadas pelo fabricante do produto e a concentração do gás em ambiente deve ser suficiente para controlar os carunchos (Upadhyay; Ahmad, 2011; Lorini *et al.*, 2013).

Embora o controle químico de pragas em armazéns seja eficiente e aceito pelas agências reguladoras de defensivos, o uso inadequado pode selecionar populações resistentes aos principais ingredientes ativos. Atualmente, a fosfina é o ingrediente ativo mais utilizado para fumigação de pragas de armazéns. Portanto, relatos de populações resistentes a esse ingrediente ativo são reportados na literatura desde os anos 70 (Champ; Dyte, 1976) e novos estudos evidenciaram aumento significativo na frequência da resistência em populações de pragas de armazéns no mundo (Pimentel *et al.*, 2009; Opit *et al.*, 2012; Daglish *et al.*, 2018). O aumento de populações de pragas resistentes está associado ao uso rotineiro dos mesmos ingredientes ativos ou ao mesmo grupo de inseticida

que age no mesmo sítio de ação nos insetos. Estudos sobre o monitoramento de populações de pragas em armazéns no Brasil constataram que em 74% das amostras coletadas havia insetos com acentuada resistência à fosfina (Lorini *et al.*, 2007). Em adição, outros trabalhos evidenciaram populações de pragas de armazéns resistentes a deltametrina (piretroide) (Khalid *et al.*, 2024). Além de problemas relacionados a populações resistentes, o uso indiscriminado de inseticidas químicos deixa resíduos prejudiciais à saúde humana e animal (Carvalho, 2017).

Nesse cenário, o desenvolvimento de novas soluções para o manejo de pragas em armazéns torna-se necessário. Tais medidas devem priorizar o baixo impacto ambiental e à saúde humana, contribuindo para a segurança alimentar global e viabilizar o fornecimento de produtos livres de resíduos químicos, além da exposição de aplicadores a esses ingredientes ativos. Assim, estudos com óleos essenciais para controle de pragas de grãos armazenados têm demonstrado resultados consistentes que os credenciam como uma alternativa valiosa no manejo de pragas e proteção dos grãos armazenados (Isman, 2020; Ribeiro *et al.*, 2023).

Os óleos essenciais (OEs), são misturas de constituintes químicos voláteis produzidos por plantas como parte de seu metabolismo secundário/especial com baixo peso molecular, apresentam alta volatilidade e variados compostos químicos (aleloquímicos) que possuem destacada ação atraente ou repelente sobre artrópodes (Regnault-Roger *et al.*, 2012), além de efeito inibidor de crescimento micelial de fungos produtores de micotoxinas prejudiciais à saúde humana (Zimmermann *et al.*, 2022). Esses compostos são produzidos pelo metabolismo secundário das plantas e a composição é influenciada por fatores genéticos, físicos, químicos, ambientais, sazonais, ocorrência de quimiotipo ou diferentes variedades de plantas, entre outros (Isman, 2016). A síntese e o acúmulo desses compostos ocorrem nas estruturas das plantas e pode variar conforme a família da planta. Por exemplo, dentre as plantas da família Lamiaceae existem algumas espécies que possuem estruturas secretoras complexas, como tricomas glandulares; já em espécies das famílias Myrtaceae e Rutaceae, as plantas apresentam cavidades secretoras e nas famílias Asteraceae e Apiaceae os óleos essenciais estão presentes em dutos de resina (Rodriguez *et al.*, 1984).

Embora a composição química dos óleos essenciais tenha influência na bioatividade sobre organismos, outros fatores podem estar envolvidos na toxicidade, entre eles, os modos de exposição. Rani *et al.* (2012) demonstraram que os óleos essenciais de *Pinus longifolia* Roxb. (Pinaceae), *Eucalyptus obliqua* L'hérit. (Myrtaceae) e *Coriandrum sativum* L. (Apiaceae) exibiram forte efeito fumigante nas espécies *Callosobruchus chinensis* L. (Coleoptera: Chrysomelidae) e *Corcyra cephalonica* Staint. (Lepidoptera: Pyralidae) quando comparados com o método de exposição por contato tópico. Outros trabalhos evidenciaram que o óleo essencial de *Citrus aurantium* L. (Rutaceae) aplicado via fumigação causa maior mortalidade de *Stomoxys calcitrans* L. (Diptera: Muscidae) em menores concentrações em relação à exposição tópica (Changbunjong *et al.*, 2022). Tais características estão relacionadas a alta volatilidade, principalmente dos compostos monoterpenos, e a penetração dos voláteis pelos sistemas respiratório, digestório ou pela cutícula do inseto (Kim; Ahn, 2001; Chaubey, 2018). Além disso, o método de fumigação permite que os compostos fiquem acumulados e confinados, resultando na rápida mortalidade nos insetos (Kiran; Prakash, 2015).

Além dos efeitos letais, são reportados na literatura efeitos subletais sobre insetos. Os efeitos subletais estão associados a interferência em aspectos biológicos dos insetos alvos, por exemplo diminuição da longevidade de adultos e/ou da progênie, redução da fecundidade e fertilidade, deterrentes de oviposição, além do efeito repelente, entre outros. Estudos com os óleos essenciais de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. (Myrtaceae) e *Heracleum persicum* L. (Apiaceae) evidenciaram os efeitos negativos na longevidade, fecundidade e fertilidade de fêmeas de *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Chrysomelidae) (Izadmehr *et al.*, 2013). Pavela (2012) investigou o efeito subletal (CL₃₀) de 13 espécies de OEs sobre lagartas *Spodoptera littoralis* Bois. (Lepidoptera: Noctuidae). As lagartas sobreviventes foram monitoradas até a fase adulta, onde se avaliou a longevidade, fertilidade e natalidade da próxima geração. Os autores relataram redução significativa da porcentagem de natalidade nos tratamentos com CL₃₀ dos óleos essenciais de *Pimenta racemosa* L. (Myrtaceae), *Salvia sclarea* L. (Lamiaceae) e *Thymus vulgaris* L. (Lamiaceae) (Pavela, 2012).

Têm sido ainda reportados na literatura efeitos repelentes no comportamento de caminhada dos insetos. O óleo essencial de *Lippia sidoides*

Cham. (Verbanaceae) influenciou positivamente no caminharmento de *Cryptotermes brevis* Walk. (Isoptera: Kalotermitidae) (Santos *et al.*, 2017). Outros trabalhos demonstram efeito repelente do óleo essencial de *Origanum vulgare* L. (Lamiaceae) sobre adultos de *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) (PLATA-RUEDA *et al.*, 2021). Entretanto, alguns óleos essenciais podem ter efeitos arrestantes em insetos. Rocha *et al.* (2018) constataram efeito residual do óleo essencial de *Pogostemon cablin* (Benth.) (Lamiaceae), que resultou na redução do caminharmento e velocidade de operárias de *Atta opaciceps* (Borg.) e *Atta sexdens rubropilosa* Forel (Hymenoptera: Formicidae). Outros estudos reportaram redução da capacidade motora de *Alphitobius diaperinus* Panzer (Coleoptera: Tenebrionidae) exposto ao óleo essencial de *Illicium verum* Hook. (Illiciaceae) (Peter *et al.*, 2022).

Além da bioatividade sobre artrópodes-praga, os óleos essenciais podem apresentar efeitos negativos em fungos saprofíticos produtores de micotoxinas prejudiciais à saúde humana. Fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* são comumente identificados em grãos armazenados e podem ocorrer em associação a infestações de insetos-praga em armazéns através de detritos gerados pela alimentação, aumento na umidade relativa e temperatura. As micotoxinas produzidas por esses microrganismos são conhecidas como aflotoxinas e afetam a segurança alimentar devido a atividade nefrotóxica, hepatóxica e potencialmente cancerígena para seres humanos (Reddy *et al.* 2004; Egal *et al.* 2005). Portanto, estudos com óleos essenciais que visam a proteção dos grãos de fungos saprofíticos, são relevantes para a prospecção de novas soluções de manejo. Trabalhos com os óleos essenciais de *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants (Amaranthaceae) e *Conyza sumatrensis* Retz (Asteraceae) sobre o fungo *Aspergillus flavus* Link:Fr (Ascomycota) mostraram efeito inibidor de crescimento micelial e alta mortalidade dos adultos de *T. castaneum* (Azeem *et al.*, 2022). Outros estudos com *A. flavus* exposto ao óleo essencial de *Cymbopogon citratus* DC. (Gramineae) evidenciou forte efeito fungicida nas concentrações de 2,80 e 3,46 mg mL⁻¹ (Paranagama *et al.*, 2003).

Considerando a importância econômica de *Z. subfasciatus* para feijoeiro armazenado e os fungos saprofíticos associados, torna-se cada vez mais importante aprofundar o conhecimento de novas soluções ambientalmente amigáveis para a implementação do manejo de pragas, além de contribuir para

segurança alimentar. Neste sentido, o presente trabalho propõe a avaliação da bioatividade dos óleos essenciais em *Z. subfasciatus*, *A. nomius* e as aflotoxinas B1, B2, G1, G2.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados nessa pesquisa auxiliam no desenvolvimento de novas soluções ambientalmente amigáveis de forma alternativa ao controle químico. Assim, os óleos essenciais (OE) podem ser estratégicos para controle de pragas de grãos armazenados e para a proteção de grãos. Os nossos resultados evidenciaram a toxicidade dos OEs de *Cordia verbenacea*, *Elionurus latiflorus*, *Dysphania ambrosioides*, *Pelargonium graveolens* e *Piper callosum* nos métodos de exposição via fumigação, aplicação tópica e contato residual sobre adultos de *Z. subfasciatus*. O OE de *E. latiflorus* apresentou inibição do crescimento do fungo *Aspergillus nomius*, e a produção das aflotoxinas B1, B2, G1 e G2, além do efeito arrestante no comportamento de caminhamento das fêmeas. O OE *D. ambrosioides* apresentou maior toxicidade quando comparado com os de OE *P. graveolens* e *P. callosum* e, adicionalmente, maior efeito repelente sobre os adultos. O OE de *P. graveolens* e de *P. callosum* mostraram efeitos negativos na oviposição das fêmeas e na emergência de adultos, sugerindo que esses OE possam ter propriedades ovicidas e/ou efeitos na biologia das larvas de *Z. subfasciatus*. Os resultados encontrados nesse estudo contribuem na busca de novas fontes de soluções de manejo de pragas de armazéns de baixo impacto ambiental e na saúde humana e ambiental. Novos estudos devem ser elaborados com os compostos majoritários isolados dos OE e investigar os efeitos nos insetos e ovos.

REFERÊNCIAS

- AEBI, A. et al. Isolation and characterization of polymorphic microsatellite markers in *Zabrotes subfasciatus* Boheman (Coleoptera: Bruchidae). **Molecular Ecology Notes**, v. 4, n. 4, p. 752-754, 2004.
- AGROFIT. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>. Acesso em: 02 fev. 2024.
- ATHIÉ, I.; PAULA, D. C. **Insetos de grãos armazenados: aspectos biológicos e identificação**. Varela, 2002. 244 p.
- AZEEM, M. et al. Pesticidal potential of some wild plant essential oils against grain pests *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) and *Aspergillus flavus* (Link, 1809). **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, n. 1, p. 103482, 2022.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. Drying and storage of grains and oilseeds. **Springer Science & Business Media**, 1992.
- CARVALHO, F. P. Pesticides, environment, and food safety. **Food and Energy Security**, v. 6, n. 2, p. 48-60, 2017.
- CARVALHO, R. P. L.; ROSSETTO, C. J. Biologia de *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera, Bruchidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 13, p. 105-117, 1968.
- CHAMP, B.R.; C.E. DYTE. FAO Global survey of pesticide susceptibility of stored grain pests. **FAO Plant Production and Protection Series 5**, Rome, Italy, 297, 1976.
- CHANGBUNJONG, T. et al. Contact and fumigant activities of *Citrus aurantium* essential oil against the stable fly *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). **Plants**, v. 11, n. 9, p. 1122, 2022.
- CHAUBEY, M. K. Study of insecticidal properties of *Trachyspermum ammi* and *Mentha arvensis* essential oils against *Sitophilus zeamais* L. (Coleoptera: Curculionidae). **Life Science**, v. 4, n. 1, p. 10-17, 2018.
- DAGLISH, G. J. et al. Insect pest management in stored grain. **Recent advances in stored product protection**, Brisbane, QLD: Springer-Verlag GmbH Germany p. 45-63, 2018.
- DENDY, J.; CREDLAND, P. F. Development, fecundity and egg dispersion of *Zabrotes subfasciatus*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 59, n. 1, p. 9-17, 1991.

EGAL, S. et al. Dietary exposure to aflatoxin from maize and groundnut in young children from Benin and Togo, West Africa. **International Journal of Food Microbiology**, v. 104, n. 2, p. 215-224, 2005.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 15 fev. 2024.

FARONI, L. R. A.; SILVA, J. S. Manejo de pragas no ecossistema de grãos armazenados. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**, v. 2, p. 345-382, 2008.

FERREIRA, A. M. Subsídios para o estudo de uma praga do feijão (*Zabrotes subfasciatus* Boh. Coleoptera, Bruchidae) dos climas tropicais. **Garcia de Orta**, v. 8, n. 3, p. 559-581, 1960.

HILL, D. S. Pests of stored foodstuffs and their control. **Springer Science & Business Media**, 2002.

IZAKMEHRI, K. Lethal and sublethal effects of essential oils from *Eucalyptus camaldulensis* and *Heracleum persicum* against the adults of *Callosobruchus maculatus*. **Journal of Insect Science**, v. 13, n. 1, p. 152, 2013.

ISMAN, M. B. Pesticides based on plant essential oils: Phytochemical and practical considerations. In: **Medicinal and aromatic crops: production, phytochemistry, and utilization**. American Chemical Society, 2016, p. 13-26.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise? **Annual Review of Entomology**, v. 65, p. 233-249, 2020.

KHALID, I. et al. Fitness cost, cross-resistance, instability and realized heritability of deltamethrin resistance in *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 44, n. 1, p. 153-164, 2024.

KIM, DH.; AHN, YJ. Contact and fumigant activities of constituents of *Foeniculum vulgare* fruit against three coleopteran stored-product insects. **Pest Management Science**, v. 57, n. 3, p. 301-306, 2001.

KIRAN, S.; PRAKASH, B. Toxicity and biochemical efficacy of chemically characterized *Rosmarinus officinalis* essential oil against *Sitophilus oryzae* and *Oryzaephilus surinamensis*. **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 817-823, 2015.

KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. **Annual Review of Entomology**, v. 43, n. 1, p. 243-270, 1998.

LORINI, I. et al. Detection and characterisation of strong resistance to phosphine in Brazilian *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). **Pesticide Science**, v. 63, n. 4, p. 358-364, 2007.

LORINI, I. et al. Expurgo da semente de soja com fosfina e seu efeito na qualidade fisiológica - Série Sementes. **Embrapa Soja-Circular Técnica**, 2013.

LORINI, I. et al. **Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas**. Documentos Embrapa soja, 2015. Disponível em: <bibliotecaagptea.org.br> Acesso em: 27 ago. 2020.

MINGOTTE, F. L. et al. Desempenho produtivo e qualidade pós-colheita de genótipos de feijão do grupo comercial carioca cultivados na época de inverno-primavera. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1101-1110, 2013.

OPIT, G. P. et al. Phosphine resistance in *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica* from stored wheat in Oklahoma. **Journal of Economic Entomology**, v. 105, n. 4, p. 1107-1114, 2012.

PARANAGAMA, P. A. et al. Fungicidal and anti-aflatoxigenic effects of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. (lemongrass) against *Aspergillus flavus* Link. isolated from stored rice. **Letters in Applied Microbiology**, v. 37, n. 1, p. 86-90, 2003.

PAVELA, R. Sublethal effects of some essential oils on the cotton leafworm *Spodoptera littoralis* (Boisduval). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 15, n. 1, p. 144-156, 2012.

PEREIRA, P. R. V. S. **Principais insetos que atacam grãos armazenados**. In: Simpósio de Proteção de Grãos Armazenados, 1993, Passo Fundo, RS. Embrapa-CNPT, 1993. p.104-116.

PETER, R. et al. Effect of *Illicium verum* (Hook) essential oil on cholinesterase and locomotor activity of *Alphitobius diaperinus* (Panzer). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 181, e105027, 2022.

PHILLIPS, T. W.; THRONE, J. E. Biorational approaches to managing stored-product insects. **Annual Review of Entomology**, v. 55, p. 97-375, 2010.

PIMENTEL, D. World resources and food losses to pests. **CRS Press**, v. 37, p. 5-11, 1991.

PIMENTEL, M. A. G. et al. Phosphine resistance in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 45, n. 1, p. 71-74, 2009.

PLATA-RUEDA, A. et al. *Origanum vulgare* essential oil against *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): Composition, insecticidal activity, and behavioral response. **Plants**, v. 10, n. 11, p. 2513, 2021.

RANI, P. U. Fumigant and contact toxic potential of essential oils from plant extracts against stored product pests. **Journal of Biopesticides**, v. 5, n. 2, p. 120, 2012.

REDDY, C. S. et al. Exploration of aflatoxin contamination and its management in rice. **Journal of Mycology and Plant Pathology**, v. 34, n. 3, p. 816-820, 2004.

REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. T. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. **Annual Review of Entomology**, v. 57, p. 405-424, 2012.

RIBEIRO, L. P.; VENDRAMIM, J. D.; BALDIN, E. L. L. **Inseticidas botânicos no Brasil: aplicações, potencialidades e perspectivas**. FEALQ, Piracicaba, 2023.

ROCHA, A. G. et al. Lethal effect and behavioral responses of leaf-cutting ants to essential oil of *Pogostemon cablin* (Lamiaceae) and its nanoformulation. **Neotropical Entomology**, v. 47, p. 769-779, 2018.

RODRIGUEZ, E. et al. **Biology and chemistry of plant trichomes**. Plenum Press, 1984.

SANTOS, A. A. et al. Sub-lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea: Termitoidea). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 145, p. 436-441, 2017.

SINGH, B.; KAUR, A. Control of insect pests in crop plants and stored food grains using plant saponins: A review. **Lwt**, v. 87, p. 93-101, 2018.

SOUTHGATE, B. J. **The importance of the Bruchidae as pests of grain legumes, their distribution and control**. In: SINGH, S.R.; VAN EMDEM H. F; TAYLOR, T. A. Pests of grain legumes: ecology and control. Academic, Londres, p. 229, 1978.

UPADHYAY, R. K.; Ahmad S. Management strategies for control of stored grain insect pests in farmer stores and public warehouses. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 7, n. 5, p. 527-549, 2011.

VIEIRA, C. **O feijoeiro comum; cultura, doenças e melhoramento**. Viçosa, Imprensa Universitária, 1967 220 p.

ZIMMERMANN, R. C. et al. Insecticidal and antifungal activities of *Melaleuca raphiophylla* essential oil against insects and seed-borne pathogens in stored products. **Industrial Crops and Products**, v. 182, e114871, 2022.