

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Susceptibilidade do caruncho do milho, *Sitophilus zeamais* L., aos óleos essenciais de alecrim do campo, *Baccharis dracunculifolia*, e de anacaita, *Schinus molle* L.

Darlison Conceição Ferreira
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

DARLISON CONCEIÇÃO FERREIRA

Susceptibilidade do caruncho do milho, *Sitophilus zeamais* L., aos óleos essenciais de alecrim do campo, *Baccharis dracunculifolia*, e de anacaita, *Schinus molle* L.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Joao Carlos Cardoso Galvao

Coorientadores: Eugenio E. de Oliveira
Eliseu J. G. Pereira

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F383s
2025
Ferreira, Darlison Conceição, 1997-
Susceptibilidade do caruncho do milho, *Sitophilus zeamais*
L., aos óleos essenciais de alecrim do campo, *Baccharis*
dracunculifolia, e de anacaita, *Schinus molle* L. / Darlison
Conceição Ferreira. – Viçosa, MG, 2025.
1 dissertação eletrônica (57 f.): il. (algumas color.).

Orientador: João Carlos Cardoso Galvão.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2025.
Referências bibliográficas: f. 47-57.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.700>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Milho - Armazenamento. 2. Inseticidas vegetais.
3. Caruncho-dos-cereais - Controle biológico.
4. Sustentabilidade. 5. Essências e óleos essenciais. I. Galvão,
João Carlos Cardoso, 1962-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 633.15

DARLISON CONCEIÇÃO FERREIRA

Susceptibilidade do caruncho do milho, *Sitophilus zeamais* L., aos óleos essenciais de alecrim do campo, *Baccharis dracunculifolia*, e de anacaita, *Schinus molle* L.

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de agosto de 2025.

Assentimento:

Darlison Conceição Ferreira
Autor

Joao Carlos Cardoso Galvao
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 24/10/2025 às 21:10:30 e pelo orientador em 24/10/2025 às 21:17:00. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **27AF.ND40.1WRI** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que em todos os momentos de minha vida, incluindo a última etapa da pós-graduação, me deu força e coragem, durante alguns períodos difíceis da jornada universitária, dando-me conforto espiritual e paciência para concluir essa etapa.

Gratidão aos meus amados e preciosos pais, Osvaldo e Luzanir, meus irmãos Alana e Arlison e meus sobrinhos Rodrigo, Artur e Maria Rafaela, pelo amor, pela paciência e suporte emocional durante esses anos, que me ajudaram a sair da minha região e vir fazer o mestrado na UFV, sem vocês eu não conseguiria, amo vocês! E aos meus demais familiares que contribuíram para que pudesse finalizar essa etapa.

Gratidão às professoras da UFOPA/PA Prof. Dra. Fabrizia Sayuri Otani, Prof. Dra. Maria Lita Padinha e Prof. Dra. Danielle Wagner por todo incentivo e apoio, por acreditarem e investirem em mim para que pudesse chegar aqui e realizar meu mestrado.

À minha amiga Dyennef Moraes Pantoja e ao Projeto BADERNA por todo apoio, incentivo e acolhimento nos anos em que fiz parte, nos quais aprendi bastante. Agradeço aos meus amigos de longa data da UFOPA/PA: Sabrina Emily por todo o apoio, palavras de carinho e orientação; Ana Luísa pelas longas conversas, troca de conhecimento, troca de palavras de ânimo, por me ajudar, mesmo longe, esteve sempre presente e aos demais que permanecem até hoje comigo, apesar da distância.

Ao Henrique, por todo seu apoio e pelo companheirismo, por toda ajuda nos dias mais complicados, por me ouvir e sempre me motivar a seguir em frente e tornar meus dias mais leves.

Agradeço a Claudecy Maria por todo apoio e por toda dedicação em me ajudar, por ser como uma mãe para mim aqui em Viçosa, por sempre me ajudar quando mais preciso e por toda disponibilidade e conselhos.

Agradeço imensamente a Josiéle Botelho Rodrigues por me auxiliar nas dúvidas universitárias, colocar mão na massa na hora de montar e conferir os resultados dos experimentos, pelas palavras de ânimo e força e por estar sempre à disposição. A Dilma de Paula por todo o incentivo, ajuda nas disciplinas e palavras acolhedoras e motivadoras em meio as nossas conversas.

Agradeço aos meus amigos que ganhei em Viçosa: Rafael, Janerson, Diego, Luis, Fernando, Samuel, Nayara, Carol, Mirna, Marcelo, Neusa, Drica, Junior, Vanessa, Renata, Igor, Lucas, Marcos, Dreice e aos demais amigos que trago no coração com imenso carinho, gratidão!

Ao meu orientador, Dr. João Carlos Cardoso Galvão, por me aceitar orientar, por todos os ensinamentos, pelo apoio e pela confiança ao longo

desses semestres, que sempre me ajudaram em todos os perrengues e dúvidas no decorrer do mestrado.

Agradecimento especial ao meu coorientador Prof. Dr. Eugenio Eduardo de Oliveira por aceitar me coorientar, por toda a paciência em me ensinar os caminhos para realização dos meus experimentos e sempre estar disposto a ajudar, por incentivar e me treinar para vida acadêmica, por me dá um espaço e me acolher em seu laboratório. Muito obrigado mesmo e levarei esses ensinamentos por onde for. Ao meu coorientador, Eliseu Jose Guedes Pereira, por sempre estar à disposição. Agradeço ao professor Luis Viteri por toda ajuda principalmente na parte estatística, sendo a sua ajuda muito valiosa.

Agradeço ao Laboratório de Fisiologia e Neurobiologia de Invertebrados (Brain & Phy Lab) por disponibilizar todo o espaço e material para a minha pesquisa. Agradeço às pessoas que formam o Brain & Phy que desde o primeiro contato me acolheram e me ajudaram em tudo de que eu precisei, além das conversas e trocas de conhecimentos no decorrer da jornada. Agradeço à doutoranda Lara Teixeira Melo Costa que me ajudou com as populações de *Sitophilus* e teve toda a paciência em me ajudar no que precisei para iniciar a pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Agronomia e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

FERREIRA, Darlison Conceição, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2025. **Susceptibilidade do caruncho do milho, *Sitophilus zeamais* L., aos óleos essenciais de alecrim do campo, *Baccharis dracunculifolia*, e de anacauita, *Schinus molle* L.** Orientador: Joao Carlos Cardoso Galvao. Coorientadores: Eugenio Eduardo de Oliveira e Eliseu Jose Guedes Pereira.

A armazenagem de grãos representa uma etapa crítica da cadeia agrícola, frequentemente comprometida pela infestação de pragas como o *Sitophilus spp.*, responsável por perdas quantitativas significativas. Devido à crescente demanda por alternativas sustentáveis ao uso de inseticidas sintéticos, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial inseticida de óleos essenciais das espécies *Schinus molle* L. (anacauíta) e *Baccharis dracunculifolia* DC (alecrim-do-campo) no controle de *Sitophilus spp.* em grãos de milho armazenado. Os experimentos foram conduzidos em laboratório, utilizando delineamento inteiramente casualizado, com três concentrações (incluindo controle) dos óleos essenciais. Foram realizados bioensaios para a construção de curvas de dose-resposta, determinando as doses letais (DL50 e DL90) em 24 e 96 horas, utilizando uma população suscetível (Sete Lagoas). Adicionalmente, avaliou-se a eficácia dos óleos essenciais em diferentes populações geográficas de *Sitophilus spp.* e foram feitas análises considerando parâmetros de mortalidade, crescimento populacional e déficit alimentar dos insetos ao longo de 12 semanas. Os resultados demonstraram perfis toxicológicos distintos entre os óleos essenciais. O OE de *S. molle* apresentou ação mais rápida, com uma DL50 de 111,26 $\mu\text{L}/\text{kg}$ em 24 horas, atribuída à sua composição rica em monoterpenos voláteis (limoneno, α -pineno e sabineno), que atuam por neurotoxicidade aguda. Em contraste, o OE de *B. dracunculifolia*, rico em sesquiterpenos oxigenados (nerolidol, espatulenol), exibiu um efeito cumulativo e temporal, com uma redução de 46,2% na sua DL50 entre 24 e 96 horas (de 264,43 para 142,35 $\mu\text{L}/\text{kg}$), indicando bioacumulação e ação por danos oxidativos. A avaliação da suscetibilidade de diferentes populações geográficas revelou variação significativa. Enquanto populações de Jacarezinho e Piracicaba se mostraram altamente sensíveis, populações de Juiz de Fora, Canarana e a linhagem "Nacional" de *S. oryzae* exibiram maior tolerância, destacando a influência de fatores genéticos e adaptativos locais. Os ensaios subletais com o OE de *S. molle* revelaram respostas complexas: na população de Juiz de Fora, as doses de 42 e 76 $\mu\text{L}/\text{kg}$ suprimiram significativamente o crescimento populacional e o consumo de grãos. No entanto, nas populações de Canarana e Sete Lagoas, observou-se um efeito hormético, em que baixas concentrações

(42 $\mu\text{L}/\text{kg}$) estimularam o consumo alimentar e o crescimento populacional, superando inclusive o grupo controle. Conclui-se que os óleos essenciais de *S. molle* e *B. dracunculifolia* possuem elevado potencial para o manejo alternativo de *Sitophilus spp.*, atuando por mecanismos complementares de ação rápida e residual, respectivamente. A eficácia dose-dependente e a variabilidade na resposta entre populações reforçam a necessidade de bioensaios específicos para o desenvolvimento de estratégias de controle eficazes. Recomenda-se a realização de estudos complementares em condições semicomerciais para avaliação da persistência, formulação e viabilidade técnica para aplicação em larga escala no âmbito do Manejo Integrado de Pragas.

Palavras-chave: armazenagem de milho; inseticidas botânicos; sustentabilidade; controle alternativo

ABSTRACT

FERREIRA, Darlison Conceição, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2025. **Susceptibility of corn weevil, *Sitophilus zeamais* L., to the essential oils of field rosemary, *Baccharis dracunculifolia*, and of anacauita, *Schinus molle* L.** Adviser: Joao Carlos Cardoso Galvao. Co-advisers: Eugenio Eduardo de Oliveira and Eliseu Jose Guedes Pereira.

Grain storage represents a critical stage of the agricultural chain, often compromised by the infestation of pests such as *Sitophilus* spp., responsible for significant quantitative losses. Due to the growing demand for sustainable alternatives to the use of synthetic insecticides, this study aimed to evaluate the insecticidal potential of essential oils of the species *Schinus molle* L. (anacauite) and *Baccharis dracunculifolia* DC (field rosemary) in the control of *Sitophilus* spp. in stored corn kernels. The experiments were conducted in the laboratory, using a completely randomized design, with three concentrations (including control) of essential oils. Bioassays were performed to construct dose-response curves, determining the lethal doses (LD50 and LD90) at 24 and 96 hours, using a susceptible population (Sete Lagoas). Additionally, the efficacy of essential oils in different geographic populations of *Sitophilus* spp. was evaluated. and analyses were carried out considering parameters of mortality, population growth and food deficit of the insects over 12 weeks. The results showed distinct toxicological profiles among essential oils. *S. molle* EO showed faster action, with an LD50 of 111.26 $\mu\text{L/kg}$ in 24 hours, attributed to its composition rich in volatile monoterpenes (limonene, α -pinene and sabinene), which act by acute neurotoxicity. In contrast, the EO of *B. dracunculifolia*, rich in oxygenated sesquiterpenes (nerolidol, spatulenol), exhibited a cumulative and temporal effect, with a 46.2% reduction in its LD50 between 24 and 96 hours (from 264.43 to 142.35 $\mu\text{L/kg}$), indicating bioaccumulation and action by oxidative damage. The assessment of the susceptibility of different geographic populations revealed significant variation. While populations from Jacarezinho and Piracicaba were highly sensitive, populations from Juiz de Fora, Canarana and the "National" lineage of *S. oryzae* exhibited greater tolerance, highlighting the influence of local genetic and adaptive factors. Sublethal assays with the EO of *S. molle* revealed complex responses: in the population of Juiz de Fora, the doses of 42 and 76 $\mu\text{L/kg}$ significantly suppressed population growth and grain consumption. However, in the populations of Canarana and Sete Lagoas, a hormetic effect was observed, in which low concentrations (42 $\mu\text{L/kg}$) stimulated food consumption and population growth, even surpassing the control group. It is concluded that

the essential oils of *S. molle* and *B. dracunculifolia* have high potential for the alternative management of *Sitophilus* spp. , acting by complementary mechanisms of rapid and residual action, respectively. Dose-dependent efficacy and variability in response between populations reinforce the need for specific bioassays for the development of effective control strategies. It is recommended to carry out complementary studies under semi-commercial conditions to evaluate the persistence, formulation and technical feasibility for large-scale application within the scope of Integrated Pest Management.

Keywords: corn storage; botanical insecticides; sustainability; alternate control.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Milho (<i>Zea mays</i>) armazenados.....	12
2.2	<i>Sitophilus spp.</i> em grãos de milho armazenados	14
2.3	Óleos essenciais.....	18
2.4	Composição química dos óleos essenciais de <i>Schinus molle</i> L. (anacauíta) e <i>Baccharis dracunculifolia</i> DC (alecrim-do-campo).....	23
2.5	Curva de dose resposta	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	Obtenção dos óleos essenciais.....	25
3.2	Obtenção das populações de <i>Sitophilus</i>	26
3.3	Avaliação inicial	26
3.4	Curva de dose-resposta.....	27
3.5	Análises Estatísticas.....	27
3.6	Resposta subletal de <i>Sitophilus</i>	28
3.7	Teste de controle populacional e déficit alimentar de <i>Sitophilus</i>	28
4	RESULTADOS	29
4.1	Avaliação Inicial.....	29
4.2	Curva de dose-resposta.....	29
4.3	Teste de controle populacional e déficit alimentar de <i>Sitophilus</i>	32
5	DISCUSSÃO	38
6	CONCLUSÕES	45
7	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos principais desafios enfrentados pela agricultura refere-se à incidência de pragas, uma vez que esses organismos podem comprometer significativamente a produção agrícola, impactando a qualidade dos produtos, elevando os custos de manejo e, conseqüentemente, os preços finais ao consumidor. Estima-se que os insetos sejam responsáveis por perdas de até 20% da produção mundial de alimentos (Savary *et al.*, 2019).

O milho ocupa posição de destaque como a segunda cultura mais cultivada no Brasil, consolidando-se como uma das principais commodities agrícolas do país. Nos últimos anos, a produção brasileira de milho tem atingido níveis recorde. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2024), a produção de milho na safra brasileira 2024/25 está estimada em 119,81 toneladas, o que representa aumento de 3,6% em relação à safra anterior (115,70 milhões de toneladas).

Os problemas enfrentados no armazenamento de grãos de milho são acentuados pela presença de insetos-praga, fungos, grãos defeituosos, impurezas e de umidade excessiva dos grãos. Esses fatores podem ocasionar perdas significativas, deterioração e prejuízos econômicos aos produtores e às empresas armazenadoras de grãos (Caneppele *et al.*, 2003; Lorini, 2018; Pimentel *et al.*, 2020). A relação entre a utilização de técnicas adequadas de controle desses agentes e os sistemas de armazenamento disponíveis aos produtores pode contribuir para manter a qualidade dos grãos, reduzindo perdas de qualidade e conseqüentes perdas financeiras na armazenagem em longos períodos (Silva *et al.*, 2007; Antunes *et al.*, 2011; Dalpasquale, 2018).

Os inseticidas químicos têm sido amplamente utilizados no controle de pragas desde o início do século XX. No entanto, a resistência a esses compostos já foi documentada em mais de 540 espécies de artrópodes (Whalon *et al.*, 2008). Infelizmente, a maioria dos casos de resistência só foi identificada após falhas no controle, em vez de estudos preventivos. A exposição constante aos inseticidas promove a seleção de indivíduos resistentes, resultando na evolução de populações que comprometem a eficiência desses produtos a longo prazo (Oliveira *et al.*, 2003). Casos de resistência a inseticidas e acaricidas sintéticos estão crescendo globalmente, tornando-se um dos desafios mais complexos no controle de pragas. Por exemplo, *Alabama argillacea*

(Lepidoptera: Noctuidae) apresenta resistência a diversos princípios ativos comumente utilizados, principalmente os piretróides (Miranda *et al.*, 2006). Outros noctuídeos, como *Heliothis virescens* e *Helicoverpa armigera*, há anos demonstram resistência a esses compostos (Tan *et al.*, 1999).

A comunidade científica e a opinião pública incentivam a pesquisa e o uso de técnicas de manejo de baixo impacto para alcançar uma produção mais limpa. Nesse contexto, os produtos derivados de plantas podem ser uma opção sustentável, desde que apresentem eficácia, sejam relativamente baratos de obter e acessíveis aos agricultores (Rajendran; Sriranjini, 2008).

O uso indiscriminado de pesticidas para o controle de doenças de plantas tem levado a problemas de contaminação humana e ambiental e seleção de patógenos resistentes a esses produtos químicos (Ghini; Kimati, 2000). O uso de plantas para tratar e curar doenças é tão antigo quanto a humanidade, e o conhecimento popular tem contribuído muito para a difusão dos benefícios terapêuticos por meio do uso dessas plantas, porém, o uso de plantas para o tratamento de doenças e controle de pragas é relativamente recente (Lubian *et al.*, 2010). A utilização de plantas no controle de pragas de grãos armazenados por agricultores brasileiros e de outros países estimulou pesquisas para avaliar sua eficácia. Uma das espécies mais estudadas é *Azadirachta indica*, conhecida popularmente como nim, originária da Índia e adaptada a condições áridas (Roel, 2001; Procópio *et al.*, 2003a). A ação repelente dos óleos essenciais deve ser considerada no controle de pragas em grãos armazenados, uma vez que maior repelência pode reduzir a infestação, diminuir a oviposição e, conseqüentemente, reduzir a emergência de novos insetos (Coitinho *et al.*, 2006a).

O controle de pragas em grãos armazenados é um problema global, pois insetos como *S. zeamais* e *Tribolium castaneum* (Herbst.) (Coleoptera: Tenebrionidae) estão amplamente distribuídos em silos e armazéns (Ferrari-Filho *et al.*, 2011; Chu *et al.*, 2012). Esses insetos podem causar perdas quantitativas e qualitativas nos grãos armazenados (Antunes *et al.*, 2011). Além disso, o acúmulo de resíduos de inseticidas nos alimentos representa um risco à saúde humana, motivo pelo qual pesquisas têm explorado o uso de óleos essenciais para o controle dessas pragas por diferentes formas de exposição (Liu; Ho, 1999; Bouda *et al.*, 2001; García *et al.*, 2005; Nerio *et al.*, 2009; Paes *et al.*, 2012).

O uso indiscriminado de agrotóxicos tem sido uma prática comum no manejo de pragas agrícolas, no entanto, essa dependência excessiva resultou em diversos problemas, incluindo resistência de pragas, emergência de pragas secundárias, intoxicação de aplicadores, contaminação de recursos hídricos e do solo, além do acúmulo de resíduos tóxicos nos alimentos (Menezes, 2005; Restello *et al.*, 2005). A crescente resistência das pragas aos inseticidas químicos reforça a necessidade de adoção de estratégias de manejo integrado (Lorini *et al.*, 2015).

Diante da crescente demanda por alternativas sustentáveis no controle de pragas, especialmente frente à resistência observada em populações expostas continuamente a inseticidas sintéticos, o presente trabalho tem como objetivo construir curvas de dose-resposta e avaliar a eficácia dos óleos essenciais de anacaita (*Schinus molle*) e alecrim-do-campo (*Baccharis dracunculifolia*), no controle do caruncho (*Sitophilus zeamais* e *Sitophilus oryzae*). Essa abordagem permitirá investigar o potencial desses produtos no manejo alternativo da praga, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes e ambientalmente seguras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Milho (*Zea mays*) armazenados

O milho é uma das culturas mais importantes do Brasil, sendo a base da alimentação humana e animal devido ao seu grande valor energético e fácil adaptação ao clima (Ribeiro, 2014). No Brasil, onde são realizadas duas safras sucessivamente em vários estados, os maiores produtores desse cereal são os estados do Mato Grosso e do Paraná com 85 milhões de toneladas (Waquil, 2014). O milho é uma angiosperma pertencente à família Poaceae, composta por diversas espécies, sendo o milho (*Zea mays* L.) uma das principais espécies.

A produção de milho no Brasil cresceu significativamente nas últimas décadas, em grande parte devido à introdução de variedades de maior rendimento e ao aumento de terras aráveis para o plantio de segunda temporada. O plantio em safrinha (segunda safra) expõe as lavouras de milho a condições climáticas diferentes da safra normal, aumentando a suscetibilidade do milho a algumas doenças (Nogueira, *et al.*, 2022). As lavouras de milho sofrem com surtos epidêmicos da cigarrinha *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott), que ao se alimentar de plantas de milho infectadas torna-se vetor

de disseminação de doenças como: o espiroplasma (*Spiroplasma kunkelii*) causador do enfezamento pálido e o fitoplasma (Maize bushy stunt phytoplasma) causador do enfezamento vermelho, ambas pertencentes a classe dos Mollicutes (reino Bactéria) e do vírus *Mayze rayado* fino virus (MRFV) (Nogueira *et al.*, 2022).

Grande parte da produção de grãos é armazenada durante a entressafra, a fim de preservar a viabilidade das sementes e as propriedades nutricionais dos grãos (Faroni *et al.*, 2005). Durante esse período, perdas devido à infestação por insetos-praga podem atingir entre 15% e 20% da produção total (Silva *et al.*, 2007; Sna, 2015).

Em países desenvolvidos, os grãos de milho são armazenados em unidades equipadas com sistemas de monitoramento de umidade e temperatura para o controle dessa praga. Em contrapartida, em países em desenvolvimento, o armazenamento é frequentemente realizado em estruturas sem controle ambiental ou o uso de defensivos químicos, resultando em expressivas perdas econômicas (Dhliwayo; Pixley, 2003).

No contexto da agricultura orgânica, a produção de milho ainda representa uma fração muito pequena da produção total. Na safra 2021/2022, foram produzidas cerca de 32 mil toneladas de milho orgânico, o que corresponde a cerca de 0,02% do total nacional (CI Orgânicos, 2021; Organics, 2023). Apesar da baixa representatividade, o segmento de grãos orgânicos vem crescendo, impulsionado por uma valorização de até 30% em comparação com os grãos convencionais, além da crescente demanda da cadeia de produção de proteína orgânica. Um exemplo é a produção de ovos orgânicos, que já representa 0,30% da proteína animal produzida no país (CI Orgânicos, 2022).

Esse cenário aponta para um mercado promissor para os produtores de grãos orgânicos. No entanto, à medida que a produção se intensifica, aumentam também as exigências dos consumidores quanto à qualidade dos produtos. Esse fator tem ampliado o interesse não apenas nas práticas adotadas no campo, mas também nas etapas de pós-colheita e de pré-processamento, fundamentais para atender aos padrões do mercado orgânico (Seixas, 2020; CI Orgânicos, 2022).

As estruturas de armazenagem de grãos que exigem grande investimento e que muitas vezes não estão disponíveis para pequenos e médios produtores, como na agricultura familiar, ou de nichos de produção específicos, como agricultura orgânica e modelos de transição agroecológica (Martins *et al.*, 2018). Para escolher o sistema de

armazenamento, deve-se levar em consideração a produção, os recursos disponíveis e os aspectos técnicos para garantir a preservação eficiente dos grãos (Silva *et al.*, 2007). Nesse sentido, sistemas de baixo custo e alta eficiência para a manutenção da qualidade dos grãos são uma exigência recorrente para os pequenos e médios produtores (Baoua *et al.*, 2012; Martins *et al.*, 2018).

A infestação por insetos é um dos principais fatores que contribuem para as perdas durante o armazenamento de grãos. Estimativas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, juntamente com a Food and Agriculture Organization, indicam que os prejuízos provocados por esses organismos podem atingir aproximadamente 10% da produção total, o que evidencia a importância de pesquisas voltadas à identificação das espécies e ao aprimoramento das práticas de manejo (Lorini, 2015). As pragas que atacam grãos armazenados constituem um desafio em escala mundial, afetando negativamente tanto a qualidade quanto a quantidade do produto final, especialmente quando não são implementadas ações eficazes de controle e prevenção. A proliferação desses insetos é favorecida por condições ambientais adequadas nos locais de armazenamento, bem como pela ausência de predadores naturais. Sua disseminação também pode ocorrer durante o processamento, fase em que há contato direto com os grãos (Ahmad *et al.*, 2021). Além disso, estratégias inadequadas de manejo podem resultar em perdas tão significativas quanto, ou até superiores às observadas durante o cultivo no campo (Andrade, 2015).

A conservação dos grãos de milho durante o armazenamento é essencial para prevenir perdas ocasionadas pelo ataque de insetos-praga. Estima-se que danos provocados por essas pragas possam comprometer até 15% da produção nacional de milho armazenado (Santos, 2008), o que evidencia a necessidade de avanços nas estratégias de manejo. Entre os principais insetos que afetam os grãos, destaca-se o caruncho-do-milho *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae), uma espécie polífaga e cosmopolita que pode infestar os grãos ainda no campo, antes mesmo da colheita (Santos, 2008; Mantovani & Pimentel, 2017).

2.2 *Sitophilus spp.* em grãos de milho armazenados

O gênero *Sitophilus spp.* (Coleoptera: Curculionidae) tem sido amplamente estudado devido à sua distribuição global e frequente associação com produtos armazenados. Esses insetos infestam uma variedade de produtos, incluindo aveia, centeio, cevada, milho, trigo e raízes de mandioca secas, além de alimentos processados como

massas, biscoitos e bolos (Mikami; Carpentieri-Pípolo; Ventura, 2012; Ukeh *et al.*, 2012; Lorini *et al.*, 2015; Wale; Assegie, 2015). Os prejuízos causados por *S. zeamais* não se restringem aos cereais, podendo atingir também frutos como pêssego, maçã e uva, conforme relatado em pó mares brasileiros (Botton *et al.*, 2005; Nörnberg *et al.*, 2013). Dentre as 14 espécies do gênero, três são consideradas pragas de relevância econômica: *Sitophilus granarius*, *Sitophilus oryzae* (bicudo do arroz) e *Sitophilus zeamais* (gorgulho do milho) (Corrêa *et al.*, 2013). O *Sitophilus spp.* destaca-se como uma das principais pragas de grãos armazenados devido ao seu impacto econômico significativo (Braga; Rossi; Pinto, 2010).

O *Sitophilus* é um inseto de pequenas dimensões (2,5 mm a 4 mm), cuja fêmea perfura os grãos para oviposição. As larvas desenvolvem-se no interior do grão, alimentando-se de suas partes internas, o que reduz significativamente seu peso. Esse dano compromete a qualidade nutricional e o valor econômico dos grãos, afetando sua viabilidade e provocando contaminação por excreções e fragmentos corporais do inseto (Suleiman *et al.*, 2015; Wei *et al.*, 2014). Como esse inseto é capaz de infestar grãos intactos, *S. zeamais* é classificado como uma praga primária de grãos (Chu *et al.*, 2012).

As perdas causadas por insetos-praga durante o armazenamento de grãos podem variar significativamente, chegando a valores entre 5% e 10% em regiões de clima temperado, e alcançando índices de 20% a 30% em zonas tropicais (Haque *et al.*, 2000). No contexto brasileiro essas perdas, que afetam tanto a quantidade quanto a qualidade dos grãos, podem comprometer até 20% da produção, sendo atribuídas à ação conjunta de pragas como insetos, ácaros e fungos (Silva *et al.*, 2007). Diante desse cenário, torna-se essencial investir em novas estratégias e tecnologias que possibilitem melhorar as condições de armazenamento e aumentar a eficácia no controle desses organismos. A adoção de métodos alternativos, desde que tecnicamente confiáveis e economicamente sustentáveis, é urgente, especialmente frente ao avanço da resistência a inseticidas observada em diversas espécies de pragas de grãos armazenados no Brasil (Pimentel *et al.*, 2009).

O impacto do *Sitophilus spp.* como praga de produtos armazenados é notável devido à sua elevada diversidade biótica e à capacidade de infestação cruzada, ou seja, a aptidão para infestar os grãos tanto no campo quanto no armazém. Esse inseto possui grande facilidade para penetrar profundamente na massa de grãos estocados e apresenta

alto potencial reprodutivo. Tal capacidade deve-se, principalmente, a duas características: a primeira é que o gorgulho é uma praga primária interna, com larvas e adultos prejudiciais aos grãos íntegros e saudáveis. A segunda está relacionada ao seu hábito polífago, que permite sua multiplicação em diferentes substratos alimentares (Botton, 2005).

O método predominante de controle do *Sitophilus* baseia-se na aplicação de inseticidas protetores, como piretróides e organofosforados, além do uso da fosfina como tratamento curativo ou para expurgo dos grãos (Guedes *et al.*, 2008; Lorini, 2008, Paes *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2016). No entanto, o uso intensivo e prolongado desses produtos ao longo de mais de 40 anos tem contribuído para o surgimento de populações resistentes de *S. zeamais* (Zhu *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2009; Pimentel *et al.*, 2009, Boyer *et al.* 2012; Machuca-Mesa *et al.*, 2023). Diante desse cenário, é imprescindível buscar métodos de controle mais sustentáveis, que ofereçam segurança, seletividade, menor impacto ambiental, viabilidade econômica e sejam compatíveis com os princípios do Manejo Integrado de Pragas (MIP) (Guedes *et al.*, 2008; Michereff Filho *et al.*, 2009).

Entre as alternativas promissoras ao controle químico convencional, destacam-se os agentes biológicos como fungos entomopatogênicos (Moore *et al.*, 2000; Batta, 2005; Alves *et al.*, 2008; Shams *et al.*, 2011), os inseticidas botânicos produzidos a partir de extratos vegetais com propriedades inseticidas, como o nim (*Azadirachta indica*) (Brower *et al.*, 1996; Weaver & Subramanyam, 2000) e os pós inertes, que atuam por mecanismos físicos, sendo a terra de diatomáceas um dos exemplos mais utilizados (Fields & Muir, 1996; Subramanyam & Roesli, 2000). O uso dessas alternativas no controle de pragas em grãos armazenados traz diversas vantagens: reduz a contaminação ambiental, apresenta baixa toxicidade para humanos, oferece efeito residual prolongado e se mostra viável para pequenos produtores e agricultura familiar, que destinam parte da produção para consumo próprio. Além disso, muitos desses produtos alternativos já estão disponíveis no mercado e podem ser aplicados com equipamentos que os agricultores geralmente já possuem, dispensando investimentos adicionais (Guedes *et al.*, 2008; Michereff Filho *et al.*, 2009).

Desde a década de 1990, já se reportavam casos de resistência ao DDT e aos piretróides em *S. zeamais* no Brasil, tendência que continuou com relatos posteriores de resistência a piretróides em várias regiões do país (Fragoso *et al.*, 2007). Essa problemática também tem sido documentada em outros estudos que apontam a resistência

adquirida por diferentes populações após o uso prolongado de inseticidas (Kumar *et al.*, 2011; Lu *et al.*, 2013), reforçando a necessidade de estratégias de manejo mais sustentáveis (Moreau; Isman, 2012).

A crescente resistência de pragas que atacam grãos armazenados representa um dos principais obstáculos à efetividade dos programas de manejo integrado (Guedes *et al.*, 1995). No cenário nacional, há registros de populações de *S. zeamais* resistentes a diversos inseticidas, incluindo organofosforados e piretróides (Guedes *et al.*, 1994; Ribeiro *et al.*, 2003; Fragoso *et al.*, 2007).

Como alternativas promissoras ao controle químico convencional, destacam-se os óleos essenciais, cujos constituintes ativos apresentam diferentes mecanismos de ação, como atividade fumegante, efeito repelente, ação por contato e dissuasão alimentar (Oliveira *et al.*, 2018). Além disso, esses compostos naturais são menos tóxicos para organismos superiores, apresentam baixa persistência no ambiente e menor potencial de induzir resistência nos insetos-alvo (Aslan *et al.*, 2004; Isman, 2006; Santos *et al.*, 2011).

Diversos estudos demonstram a eficácia dos pós e óleos vegetais (Liu e Ho, 1999; Haque *et al.*, 2000) e de substâncias inertes (Korunic, 1997; Fields e Korunic, 2000) no controle de *Sitophilus zeamais* e outras pragas de grãos armazenados, devido à sua eficiência, fácil obtenção, baixo custo e segurança para usuários e consumidores (Oliveira e Vendramim, 1999). O óleo ZP51, extraído de plantas da família Labiatae, causou 90% de mortalidade em adultos de *Sitophilus oryzae* (L.), *Oryzaephilus surinamensis* (L.), *Rhyzopertha dominica* (F.) e *Tribolium castaneum* (Herbst), após 24 horas de fumigação na concentração de 1,4 a 4,5 µL/L de ar (Shaaya *et al.*, 1997). O óleo essencial da casca de canela (*Cinnamomum aromaticum* Ness) apresentou Concentração Letal 50% (CL50) de 0,66 e 0,54 mg/cm² nos testes de ação de contato e fumigação, utilizando papel de filtro impregnado (Huang e Ho, 1998). A aplicação de pós de sementes de nim (*Azadirachta indica* A. Juss) na concentração de 10% (CL10) em trigo levou à mortalidade total de adultos de *S. oryzae* (Niber, 1994). Além disso, pós da raiz de *Dicoma sessiflora* (Mutisieae) em concentrações de 1 e 2% também foram eficazes contra essa praga (Chimbe e Galley, 1996).

Guedes *et al.* (2005) associaram a quantidade de moléculas de reserva armazenadas em células trofocíticas à massa corpórea média de indivíduos resistentes a

piretróides. Estudos indicam que a resistência de *S. zeamais* está relacionada ao aumento da atividade das glutatona S-transferases (GSTs), podendo dobrar sua atividade em insetos resistentes (Fragoso *et al.*, 2007). Além disso, há uma correlação significativa entre a resistência aos piretróides e a atividade dessas enzimas (Fragoso *et al.*, 2007).

A resistência dos insetos pode ser atribuída a fatores genéticos, como a redução da penetração do inseticida, aumento da capacidade de sequestrar moléculas tóxicas, insensibilidade aos compostos químicos e maior eficiência na destoxificação celular (Casida *et al.*, 1998; Ranson *et al.*, 2002; Oakshott *et al.*, 2003). Essas características tornam os inseticidas ineficazes em pouco tempo, aumentando a frequência de aplicações e promovendo o uso de doses mais elevadas ou combinações de princípios ativos (Nerio *et al.*, 2010).

2.3 Óleos essenciais

A evolução das defesas químicas nas plantas está fortemente relacionada à produção de metabólitos secundários, que desempenham funções essenciais na proteção contra herbívora. Esses compostos bioativos atuam sobre os insetos causando efeitos como repelência, deterrência, inibição do crescimento e redução do consumo alimentar (Liu *et al.*, 2009; Nerio *et al.*, 2010). Nesse contexto, espécies vegetais com propriedades inseticidas têm sido investigadas como alternativas ao controle químico convencional, sendo aplicadas na forma de extratos, óleos essenciais e pós vegetais (Bakkali *et al.*, 2008).

Pesquisas demonstram que derivados vegetais apresentam elevado potencial inseticida, o que os torna candidatos promissores para o manejo de pragas em ambientes de armazenamento (Albuquerque *et al.*, 2013; Bacci *et al.*, 2015; Campos *et al.*, 2015; Lima *et al.*, 2013). Compostos naturais de origem vegetal têm se destacado por sua bioatividade, servindo como opções viáveis frente aos inseticidas sintéticos (Guo *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2011; Peixoto *et al.*, 2015; Song *et al.*, 2016). Tais produtos, geralmente classificados como inseticidas botânicos, oferecem vantagens como menor toxicidade para humanos e organismos não-alvo, além de causarem menor impacto ambiental e apresentarem menor custo de aplicação (Bagavan *et al.*, 2009).

Entre esses compostos naturais, os óleos essenciais têm sido amplamente estudados pelo seu efeito inseticida (Nerio *et al.*, 2009). Extraídos de plantas aromáticas

e medicinais, os óleos essenciais (OEs) são formados por misturas complexas de substâncias voláteis produzidas via metabolismo secundário. Esses compostos contribuem diretamente para a defesa vegetal contra fitófagos e microrganismos patogênicos (Isman, 2006; Regnault-Roger; Vincent; Arnason, 2012). Os óleos essenciais podem ser obtidos a partir de diversas partes da planta por meio de técnicas específicas de extração, como a hidrodestilação (Rezende, 2020). Comparados aos inseticidas sintéticos, esses produtos naturais apresentam melhor perfil de segurança, maior capacidade de degradação ambiental e menor risco toxicológico para seres humanos. Por essas razões, têm sido recomendados como uma solução viável especialmente para pequenos produtores no manejo de pragas em grãos armazenados (Dayan *et al.*, 2009).

A busca por métodos sustentáveis deve priorizar a promoção e restauração dos sistemas naturais, evitando o aumento da dependência de insumos químicos que possam gerar impactos ambientais e riscos à saúde. Além disso, muitas populações de insetos já apresentam resistência a compostos tradicionalmente utilizados no controle químico (Kronbauer *et al.*, 2021). Assim, torna-se fundamental intensificar os estudos voltados ao desenvolvimento de alternativas como bio defensivos formulados a partir de óleos essenciais ou extratos vegetais, adaptáveis às condições produtivas e comerciais de diferentes regiões (Crespo *et al.*, 2021).

Devido à sua bioatividade, os OEs possuem aplicações diversas, incluindo usos como aromatizantes, inseticidas (Bacci *et al.*, 2015), acaricidas (Campos *et al.*, 2015), herbicidas, fungicidas e fármacos (Campos *et al.*, 2012). Os metabólitos secundários das plantas, como terpenos, compostos fenólicos e substâncias nitrogenadas, são apontados como potenciais fontes para o desenvolvimento de novos compostos inseticidas (Irchhaiya *et al.*, 2015).

A eficácia dos OEs no controle de insetos deve-se à complexidade de sua composição química e ao potencial de interações sinérgicas entre seus componentes, resultando em diferentes modos de ação pesticida (Jaya *et al.*, 2014). Essa variedade de mecanismos pode dificultar a seleção de organismos resistentes aos OEs. Por apresentarem compostos de baixo peso molecular, os OEs são altamente voláteis, o que reduz sua persistência ambiental e minimiza impactos sobre organismos não-alvo (Albuquerque *et al.*, 2013; Lima *et al.*, 2014; Peixoto *et al.*, 2015).

Os métodos alternativos de controle de pragas em grãos armazenados complementam os métodos convencionais e incluem o uso de óleos essenciais e compostos bioativos de plantas, além de pós-inertes, visando minimizar as perdas pós-colheita (Lorini *et al.*, 2002). Apesar de conhecidos há bastante tempo, esses métodos requerem aprimoramentos para sua aplicação em larga escala, especialmente no que se refere à estabilidade dos compostos bioativos ao longo do tempo (Guerra, 1985; Roel, 2001).

A atividade inseticida dos extratos vegetais está diretamente relacionada à presença de metabólitos secundários, compostos capazes de interferir no desenvolvimento dos insetos que infestam grãos armazenados (Michaelraj & Sharma, 2006). A produção desses metabólitos pelas plantas é influenciada por fatores ecológicos, genéticos e ambientais, tanto bióticos quanto abióticos, que podem ativar genes responsáveis pela biossíntese de substâncias de defesa em resposta a injúrias provocadas por microrganismos, herbívoros ou alterações sazonais (Castro *et al.*, 2010; Marco *et al.*, 2007). Muitos desses compostos apresentam características lipofílicas, permitindo-lhes afetar processos fisiológicos e bioquímicos dos insetos, resultando em toxicidade (Nerio *et al.*, 2009; Batish *et al.*, 2008; Papachristos & Stamopoulos, 2004; Park *et al.*, 2003).

Nos últimos anos, a pesquisa voltada à identificação de compostos bioativos com ação sobre insetos e fungos em grãos armazenados tem ganhado destaque, como demonstrado pelo número crescente de publicações científicas na área. Dessa forma, a busca por novos grupos químicos com propriedades inseticidas e fungicidas torna-se essencial (Procópio *et al.*, 2003a). Entre as alternativas mais promissoras, os pesticidas naturais à base de óleos essenciais destacam-se por sua menor toxicidade e reduzido impacto ambiental (Isman, 2000). O mecanismo de ação desses óleos geralmente envolve efeitos neurotóxicos, como a interferência na octopamina, neuromodulador presente apenas em invertebrados, ou a modulação dos canais de cálcio mediados pelo GABA (Isman, 2006). A octopamina, análoga à noradrenalina em mamíferos, desempenha papéis fundamentais no comportamento e metabolismo dos insetos (Roeder, 1999). Além disso, compostos como a azadiractina, isolada da árvore do nim (*Azadirachta indica*), são capazes de afetar os quimiorreceptores dos insetos, inibindo sua alimentação até provocar a inanição (Knaak & Fiuza, 2010).

As plantas produzem uma ampla diversidade de compostos bioativos com potencial inseticida, sendo considerados alternativas viáveis aos inseticidas sintéticos devido à sua alta bioatividade (Silva *et al.*, 2007; Rattan, 2010; Thormar, 2012). Os óleos essenciais (OEs), compostos por misturas de substâncias voláteis, têm demonstrado efeitos letais e subletais sobre várias espécies de insetos (Isman, 2000), sendo sua eficácia atribuída à complexidade química e às interações sinérgicas ou aditivas entre seus componentes (Berenbaum, 1985). Uma das principais vantagens do uso de produtos naturais está em sua rápida degradação, o que reduz a contaminação ambiental e os riscos para organismos não-alvo (Isman, 2006).

Diversas espécies vegetais liberam compostos que atuam como mecanismos naturais de defesa contra herbívoros, os ataques herbívoros induzem a liberação de alomônios, que reduzem os danos às plantas (Striquer *et al.*, 2006). No caso da família Asteraceae, compostos como terpenos e diterpenos têm mostrado atividade antixenótica (repelente) e antibiótica (tóxica) sobre insetos, um exemplo é o nerolidol, presente em *Baccharis dracunculifolia*, reconhecido por sua ação repelente (Coitinho *et al.*, 2006).

Entre os principais constituintes dos óleos essenciais com propriedades inseticidas destacam-se monoterpenos e sesquiterpenos, amplamente encontrados em plantas aromáticas (Kaplan, 2012; Regnault-Roger *et al.*, 2012). Além da ação inseticida, esses compostos também podem atuar como repelentes, inibidores de alimentação ou interferentes em processos fisiológicos dos insetos. Óleos essenciais e seus constituintes demonstram toxicidade tanto por contato quanto por ingestão, sendo eficazes no controle de pragas em grãos armazenados (Leandro *et al.*, 2011; Fernandes; Favero, 2014). Entretanto, sua aplicação em larga escala pode ser limitada pelo elevado custo de produção, decorrente do baixo rendimento na extração e da grande quantidade de matéria-prima necessária.

Com o avanço da agricultura sustentável, crescem os esforços para encontrar alternativas seguras e eficazes no controle de pragas. Por isso, torna-se imprescindível intensificar as pesquisas sobre os compostos presentes nos óleos essenciais que possuem ação toxicológica significativa (Brito, 2015; Rezende, 2020). Esses produtos têm se mostrado promissores no manejo integrado de pragas, pois, além da eficácia inseticida e repelente, são biodegradáveis, não causam danos ao ambiente e à saúde humana, e podem ser aplicados em diferentes sistemas de cultivo (Zimmermann *et al.*, 2021). Os efeitos dos

óleos essenciais sobre os insetos vão desde a mortalidade direta até alterações fisiológicas, comportamentais e reprodutivas, configurando os chamados efeitos subletais (Lee, 2000).

Dentre os compostos naturais já formulados como inseticidas, destacam-se os alcaloides veratrina, anabasina, nicotina e nornicotina, além de piretrinas, rianodina e rotenona. Um exemplo emblemático é o piretro, derivado do crisântemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*), usado como inseticida desde 1850 (Cremsyn, 1979). Apesar de sua eficácia e baixa toxicidade para mamíferos, sua instabilidade em presença de luz e oxigênio limitou sua aplicação. No entanto, o estudo de seus princípios ativos possibilitou o desenvolvimento dos piretróides sintéticos (Cremsyn, 1979). Nesse sentido, o uso de extratos vegetais pode não apenas fornecer novos agentes eficazes, mas também contribuir para a compreensão dos mecanismos bioquímicos envolvidos nas interações inseto-composto natural, promovendo uma abordagem biorracional no controle de pragas (Coats *et al.*, 1991; Coats, 1994).

Óleos essenciais demonstraram eficácia contra pragas de grãos armazenados, como *Sitophilus spp.* Por exemplo, óleos fixos de palma (*Elaeis guineensis*) reduziram a emergência de adultos de *S. zeamais* por até seis meses (Abulude *et al.*, 2007), enquanto óleos de coco (*Cocos nucifera*), amendoim (*Arachis hypogaea*) e soja (*Glycine max*), na dose de 10 mL/kg de grão, proporcionaram 100% de mortalidade (Obeng-Ofori *et al.*, 2005). Da mesma forma, óleos de *Piper aduncum* e *Piper hispidinervum* demonstraram toxicidade por contato e fumigação (Estrela *et al.*, 2006).

No Brasil, ainda não há produtos comerciais à base de óleos essenciais registrados para controle de pragas em grãos armazenados. Em contrapartida, países da Europa e os Estados Unidos já dispõem de formulações comerciais com essa finalidade (Knaak & Fiuza, 2010). O Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT/MAPA) registra apenas um produto à base de terra diatomácea e um concentrado de azadiractina, este último recomendado apenas para culturas no campo (Brasil, 2014).

O alecrim-do-campo (*Baccharis dracunculifolia* D.C.), planta da família Asteraceae, cultivada no Sul do Brasil, é amplamente reconhecido por suas propriedades medicinais e inseticidas (Gelinski *et al.*, 2007; Da Silva *et al.*, 2007). Óleos essenciais dessa planta, bem como da anacauíta (*Schinus molle* L.), apresentam atividades fumigantes, repelentes e inseticidas, o que indica que seus hidrolatos, subprodutos da

destilação, também podem constituir alternativas sustentáveis e econômicas no manejo de pragas agrícolas.

Considerando o avanço da resistência comportamental, fisiológica e bioquímica dos insetos a inseticidas convencionais (Guedes *et al.*, 1995; Ribeiro *et al.*, 2003; Fragoso *et al.*, 2005), os óleos essenciais surgem como uma estratégia complementar no manejo integrado de pragas, reduzindo a dependência de substâncias sintéticas e os impactos ambientais (Pimentel *et al.*, 2009).

2.4 Composição química dos óleos essenciais de *Schinus molle* L. (anacauíta) e *Baccharis dracunculifolia* DC (alecrim-do-campo)

A crescente demanda por alternativas sustentáveis ao uso de agrotóxicos tem impulsionado o interesse por produtos naturais com ação inseticida e antimicrobiana. Nesse contexto, a pesquisa desenvolvida por Rodrigues (2023) destaca o trabalho do grupo Anacauíta, coletivo de mulheres e jovens rurais da região Sul do Brasil, que atua na extração de óleos essenciais (OEs) e hidrolatos (Hs) de espécies nativas como *Schinus molle* L. (anacauíta) e *Baccharis dracunculifolia* DC (alecrim-do-campo), trabalho avaliou a eficiência dos óleos essenciais e do hidrolatos dessas espécies no controle da praga *Sitophilus zeamais*.

A composição química dos OEs dessas espécies foi determinada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), com resultados que evidenciam o potencial bioativo dos extratos. Para o óleo essencial de *B. dracunculifolia*, foram identificados 21 compostos, com predominância dos monoterpenos β -pineno (22,09%), nerolidol (E) (18,34%) e limoneno (14,87%). Já o OE de *S. molle* apresentou 29 compostos, sendo os majoritários o limoneno (29,31%), sabineno (23,43%) e α -pineno (13,96%) (Tabela 1).

Estes constituintes estão associados a diversas atividades biológicas. O β -pineno e o limoneno possuem ação antimicrobiana e inseticida comprovada, enquanto o nerolidol é reconhecido por seu efeito antiulcerogênico e repelente (Ataide *et al.*, 2020). No caso da *S. molle*, o alto teor de limoneno e sabineno reforça seu potencial inseticida, corroborando estudos anteriores que relatam efeitos fago-inibitórios e ação repelente contra *Sitophilus oryzae*.

Tabela 1: Componentes voláteis e porcentagens em área obtidas as folhas de *Schinus molle* L. e *Baccharis dracunculifolia* D.C. Onde TR=Tempo de retenção(minutos);IK cal=Índice de Kovats calculado ; IK tab = Índice de Kovats tabelado(Adams,2007), NI= não identificado.

Nº	Tempo Ret. (min)	Composto	Área % <i>B. dracunculifolia</i>	Área % <i>S. molle</i>	RI cal	RI tab
1	10,722	α -Thujene	-	0,52	924	924
2	11,038	α-Pineno	8,63	13,96	931	932
3	11,65	Canfeno	-	0,19	944	946
4	13,005	Sabineno	-	23,43	972	969
5	13,105	β-Pineno	22,9	7,36	974	974
6	13,853	Mirceno	3,64	1,67	990	988
7	14,403	α -Felandreno	-	0,23	1001	1002
8	15,035	δ -3-Careno	-	1,96	1014	1001
9	15,442	p-Cimeno	-	0,29	1022	1022
10	15,714	Limoneno	14,87	29,31	1027	1024
11	16,199	(Z)- β -Ocimeno	-	0,1	1037	1032
12	16,706	(E)- β -Ocimeno	1,34	2,29	1047	1044
13	17,169	γ -Terpineno	0,3	2,78	1056	1054
14	18,668	Terpinoleno	-	0,64	1085	1086
15	18,66	α -Terpinoleno	0,22	-	1085	1088
16	19,306	Linalol	0,4	-	1098	1095
17	20,168	Nitrilo de geranilo	0,62	-	1115	-
18	20,333	cis-p-Menth-2-en-1-ol	-	0,08	1118	1118
19	21,257	trans-p-Menth-2-en-1-ol	-	0,05	1137	1136
20	23,133	Terpinen-4-ol	0,26	2,93	1174	1174
21	23,813	α -Terpineol	0,31	0,11	1188	1186
22	33,404	β -Elemene	-	0,06	1391	1389
23	34,67	(E)-Cariofileno	5,68	2,27	1419	1417
24	35,485	Aloaromadendreno	1,19	-	1438	-
25	36,118	Não identificado	0,86	-	1453	-
26	37,353	D-Germacreno	2,87	2,29	1481	1484
27	38,052	Elixeno	7,41	5,34	1497	1502
28	38,709	α -Muuroleno	-	0,24	1513	1500
29	39,125	δ -Cadineno	2,18	0,3	1523	1522
30	40,913	(E)-Nerolidol	18,34	0,12	1567	1561
31	41,415	Espatuleno	3,8	0,6	1579	1577
32	41,573	Óxido de cariofileno	-	0,4	1583	1582
33	41,653	Epiglobulol	1,5	-	1585	-
34	41,999	Globulol	2,69	0,07	1593	1590
35	43,85	epi- α -Cadinol	-	0,42	1640	1638
Total de compostos identificados			99.14	100		
Não identificados			1.37	0		

Fonte: Rodrigues (2023)

2.5 Curva de dose resposta

As curvas de dose-resposta constituem ferramentas gráficas essenciais para representar os resultados de diferentes tipos de experimentos biológicos (Motulsky e Christopoulos, 2004). Nessas curvas, o eixo horizontal (X ou abcissa) corresponde à concentração do composto testado que pode ser um fármaco, extrato vegetal ou microbiano, enquanto o eixo vertical (Y) representa a resposta biológica observada, expressa por qualquer parâmetro funcional mensurável no sistema experimental. A curva de dose-resposta ilustra graficamente a relação matemática entre a dose de um princípio ativo e o efeito por ele provocado (De Lean *et al.*, 1978). Normalmente, essa curva apresenta formato sigmoide, caracterizando uma resposta crescente em forma de “S”.

A partir dessas curvas, é possível determinar parâmetros toxicológicos e biológicos importantes, como a Dose Letal média (LD₅₀), que corresponde à quantidade de uma substância capaz de provocar a morte de 50% dos organismos expostos em um determinado intervalo de tempo. De maneira semelhante, também podem ser estimadas outras concentrações de interesse, como as doses letais ou eficazes para 90%, 95% e 99% dos indivíduos testados (LD₉₀, LD₉₅ e LD₉₉), o que contribui para uma avaliação mais precisa da potência e segurança do agente avaliado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção dos óleos essenciais

Nesta pesquisa, foram utilizados óleos essenciais que previamente apresentaram resultados promissores no controle de insetos, os óleos essenciais *Schinus molle* L. (anacauíta) e *Baccharis dracunculifolia* DC (alecrim-do-campo) foram produzidos e fornecidos pelo grupo Anacauíta, coletivo de mulheres e jovens rurais da região Sul do Brasil. Para obtenção dos óleos essenciais foram utilizados 40 kg da planta de alecrim-do-campo e 29 kg de anacauíta na dorna de destilação. A extração dos compostos voláteis destas plantas se deu pelo arraste de vapor através do aquecimento da água (hidrodestilação). Posteriormente, este gás foi resfriado numa temperatura de 0-10°C, pois acima de 10°C poderá resultar na perda de certos princípios ativos, com o processo de resfriamento os compostos voláteis são condensados formando a água (hidrolatos) e o óleo (óleo essencial). Nesta extração o alecrim do campo teve um rendimento de 3000 ml de hidrolatos e 27 ml de óleo essencial. Já a anacauíta obteve um rendimento de 5000 ml de hidrolatos e 140 ml de óleo essencial.

3.2 Obtenção das populações de *Sitophilus*

As populações de *Sitophilus* foram obtidas das criações do Laboratório de Fisiologia e Neurobiologia de Invertebrados (Brain & Phy Lab) do Departamento de Entomologia (DDE) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Nessa criação possuem populações de *Sitophilus* de diversas localidades, mantidas em potes de vidro (1,5 L) fechados com organza contendo milho isento de inseticidas em condições controladas de temperatura ($27 \pm 2^\circ\text{C}$) e umidade relativa ($70 \pm 10\%$) e fotoperíodo (LD 12:12) e a cada 45 dias eram realizadas inspeções para evitar contaminação dos grãos por fungos decompositores. Dessas foram selecionadas 10 populações (Figura 1) que apresentam importância para a pesquisa.

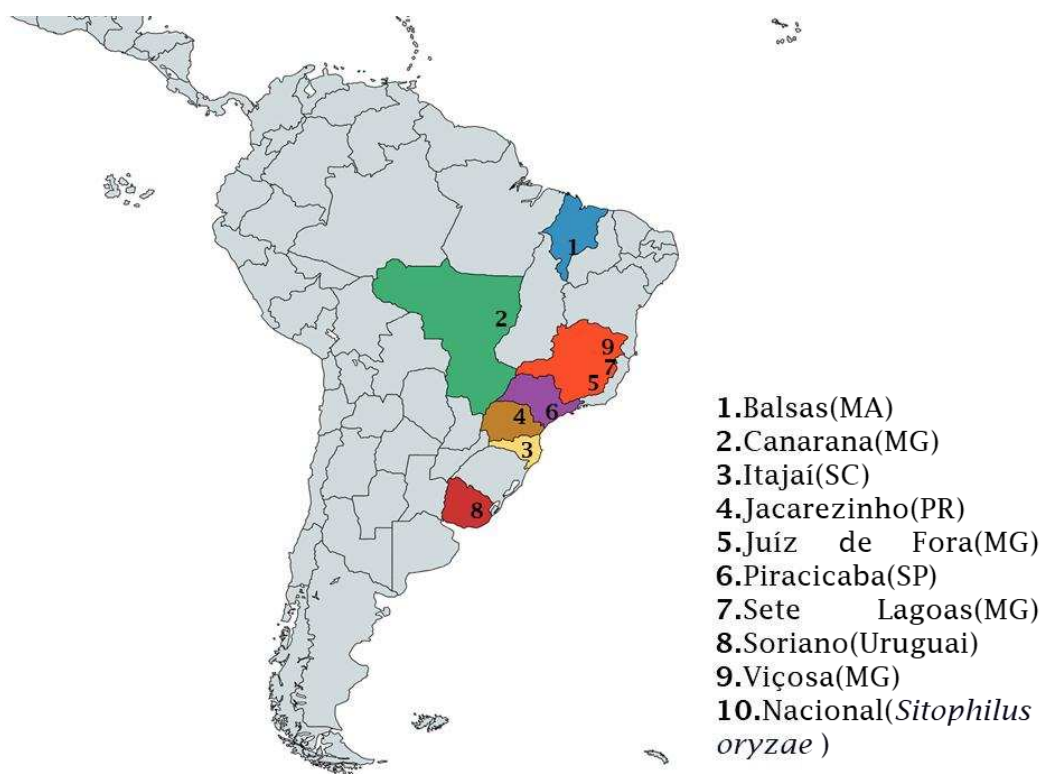


Figura 1: Localidades de origem das populações de *Sitophilus* utilizadas na pesquisa. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.3 Avaliação inicial

Foram realizados testes preliminares para determinar o intervalo de concentrações de óleos essenciais e hidrolatos que causa mortalidades superiores a zero e inferiores a 100%. Utilizando como base a metodologia do trabalho de Jumbo (2014), foram determinadas duas dosagens de óleos, sendo de $50\mu\text{L}$ e $150\mu\text{L}$, e foi utilizada a população

de Sete Lagoas, padrão de susceptibilidade conforme descrito nos trabalhos de Guedes *et al.* (1995); Ribeiro *et al.* (2003); Araújo *et al.* (2008); Braga *et al.* (2011).

O teste foi realizado através da aplicação direta dos tratamentos nos grãos, sendo feita uma exposição por contato e fumigação dos insetos. Sendo que ele foi realizado em frasco de vidros hermeticamente fechado contendo 150 gramas de milho, usando os óleos essenciais de anacauita e alecrim do campo. Os testes foram formados por tratamentos pré-definidos (50 μ L e 150 μ L) e o controle (sem produto) com quatro repetições cada, onde os vinte e cinco insetos não-sexados e idade não determinada, foram expostos aos milhos tratados com os óleos essenciais por um período de 96 horas, sendo verificada nas 24 e 96 horas de exposição. Depois desse período, foi avaliada a mortalidade proporcional às respectivas dosagens utilizadas. A fim de padronizar a avaliação, os insetos foram considerados mortos quando não responderam a estímulos provocados por um único toque de pinça. Após a realização dos testes preliminares e determinação da faixa de concentração a ser utilizada nos bioensaios definitivos.

3.4 Curva de dose-resposta

Com base nos resultados obtidos na avaliação anterior, foram determinadas novas dosagens para os óleos essenciais, sendo que para o de *Schinus molle* L. (anacauita) foram determinadas as dosagens de 50 μ L, 70 μ L, 90 μ L, 110 μ L, 130 μ L e 150 μ L, já para o óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* DC (alecrim-do-campo) foram determinadas dosagens de 50 μ L, 150 μ L, 300 μ L, 450 μ L e 600 μ L. Esse teste seguiu os mesmos métodos de execução da avaliação inicial, sendo utilizada novamente a população de Sete Lagoas. Foi feita uma análise por meio da curva de mortalidade obtida pela correlação entre a dose e o percentual de insetos mortos e as doses letais (DL₁₀, DL₅₀) que foram determinadas a partir da equação da curva gerada.

3.5 Análises Estatísticas

Os dados de mortalidade obtidos no bioensaio foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ utilizando-se o software SigmaPlot 12.5. Foram considerados eficientes os tratamentos que causaram maior mortalidade dos indivíduos de *Sitophilus zeamais*.

3.6 Resposta subletal de *Sitophilus*

O experimento foi conduzido com base nos resultados encontrados no teste anterior. Utilizando a mesma metodologia de montagem do primeiro experimento, utilizando a DL_{90} de cada óleo essencial, sendo de 150 $\mu\text{L}/\text{kg}$ para o óleo essencial de Anacauita e 435 $\mu\text{L}/\text{kg}$ para o de Alecrim do campo, com 4 repetições cada e sendo avaliados em 24 e 96 horas. Após essa avaliação foi determinada a DL_{10} para cada óleo essencial para os dois tempos avaliados (24 e 96 horas). Os valores encontrados foram rodados utilizando Teste Z comparando com os valores encontrados no segundo experimento.

3.7 Teste de controle populacional e déficit alimentar de *Sitophilus*

O teste foi conduzido em frascos de vidro de 200 ml, cada um contendo 150 gramas de grãos de milho com um teor de umidade de 14% (livre de resíduos de inseticidas). Sendo impregnado na semente de milho por meio de micropipetador automático de volume variável. Em seguida, os recipientes foram submetidos a agitação durante um minuto, para distribuir uniformemente os produtos sobre as sementes. Após esse processo foram liberados vinte e cinco adultos de *Sitophilus*, de sexo e idade mistos, em cada frasco. Nessa primeira etapa do experimento cada tratamento teve 5 repetições. Foram utilizadas as $DL_1(42\mu\text{L}/\text{kg})$ e $DL_{10}(76\mu\text{L}/\text{kg})$, mais o controle para o óleo essencial de Anacauita e para as populações de *Sitophilus* que apresentaram valores abaixo dos valores encontrados no segundo experimento. Foram contabilizados os números de insetos vivos e mortos com 24 e 96 horas.

Após 96 horas foram coletados e contabilizados os sobreviventes. Após essa etapa, os *Sitophilus* sobreviventes foram colocados em potes de 200ml e com 150gramas de grão de milho não tratado, no qual para cada tratamento foram utilizadas quatro repetições com 25 insetos cada, que sobreviveram a primeira etapa. Os frascos foram fechados com organza, semelhante ao método de criação das populações, com o objetivo de verificar o crescimento populacional e o déficit alimentar das populações. As avaliações foram feitas com 6, 8, 10 e 12 semanas, sendo contabilizados os insetos vivos e mortos e os grãos pesados, acompanhando o crescimento geracional e consumo de grãos de cada uma das populações a fim de verificar os efeitos subletais do óleo essencial sobre elas.

4 RESULTADOS

4.1 Avaliação Inicial

Os óleos essenciais (OEs) de *Schinus molle* e *Baccharis dracunculifolia* apresentaram toxicidade diferenciada contra adultos de *Sitophilus spp.* da população suscetível (Sete Lagoas). Na concentração de 150 $\mu\text{L}/\text{kg}$ de grãos, o OE de *S. molle* causou 99% de mortalidade após 96 horas de exposição, enquanto o OE de *B. dracunculifolia*, na mesma dose e tempo, resultou em 46% de mortalidade. Às 24 horas, a mortalidade foi de 18% para *B. dracunculifolia*, significativamente inferior à observada para *S. molle*, indicando uma ação inicial mais rápida deste último óleo essencial (Figura 2).

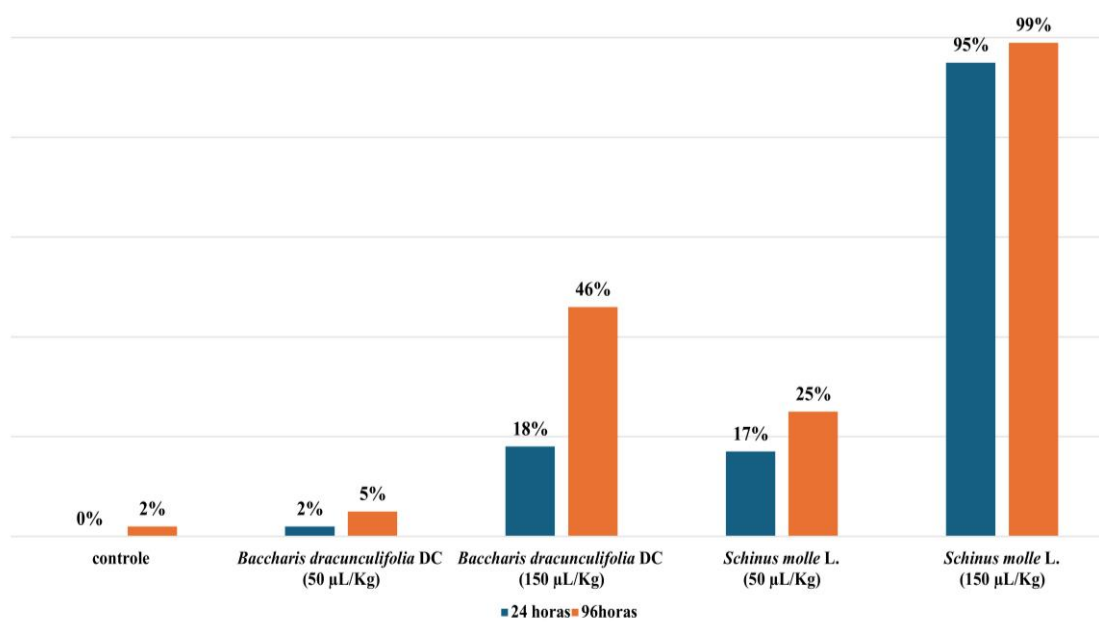


Figura 2: Toxicidade dos óleos essenciais de *Schinus molle* L.(anacauita) e *Baccharis dracunculifolia* DC. (alecrim-do-campo) sobre adultos de *Sitophilus*, avaliada após 24 e 96 horas de exposição, em diferentes concentrações (50 e 150 $\mu\text{L}/\text{kg}$ de grãos).

4.2 Curva de dose-resposta

O óleo essencial de anacauita (*Schinus molle*) apresentou uma curva de dose-resposta com menor variabilidade interindividual, refletindo uma resposta homogênea da população que recebeu o tratamento. A análise da toxicidade aguda em 24 horas revelou diferenças significativas entre óleos, com o óleo de *S. molle* apresentado DL_{50} de 111,26 $\mu\text{L}/\text{kg}$, valor inferior ao do óleo essencial de *B. dracunculifolia* de 264,43 $\mu\text{L}/\text{kg}$ (Figura 3).

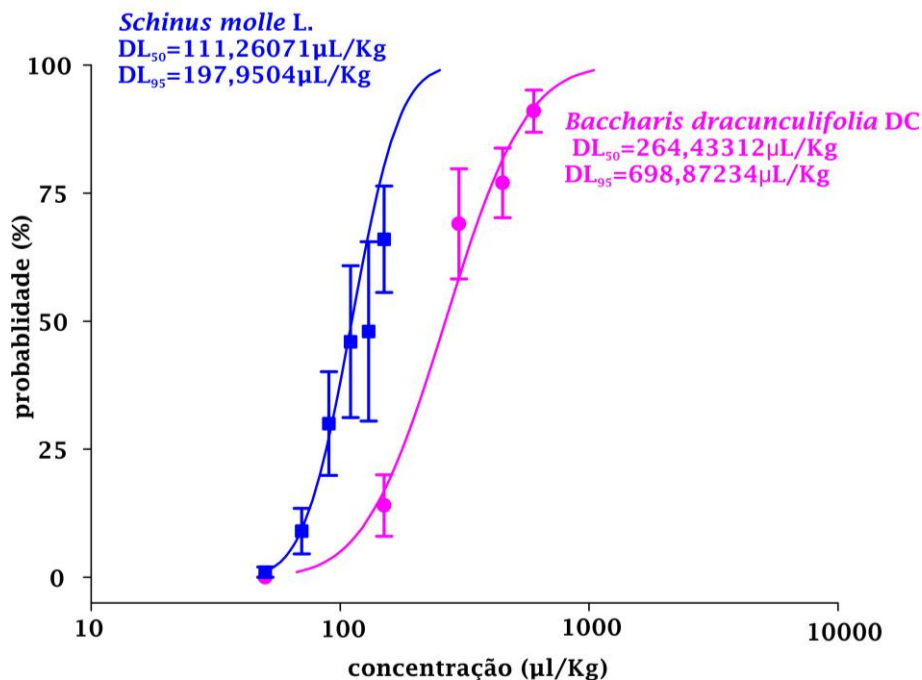


Figura 3: Curvas de probit da toxicidade dos óleos essenciais de *Schinus molle* L. (anacaita) e *Baccharis dracunculifolia* DC (alecrim-do-campo) sobre adultos de *Sitophilus* após 24 horas da aplicação, em duas doses letais (DL_{50} e DL_{95}). As barras de erro indicam o desvio padrão da média.

O óleo essencial de *S. molle* (anacaita) apresentou estabilidade toxicológica significativa em 96 horas em relação a 24 horas, sendo que para DL_{50} teve uma redução de 15,2% e para a DL_{95} de 5,0% (Figura 4). O óleo essencial de *B. dracunculifolia* (alecrim-do-campo) apresentou uma redução significativa nos valores de letalidade, com 46,2% na DL_{50} e 47,7% na DL_{95} . A velocidade de ação do óleo essencial de *Schinus molle* se apresentou 2,4 vezes mais rápida em 24 horas (DL_{50} : 111,26 vs. 264,43 $\mu\text{L/kg}$) e houve uma redução de 47% na DL_{95} de *B. dracunculifolia* em 96 horas.

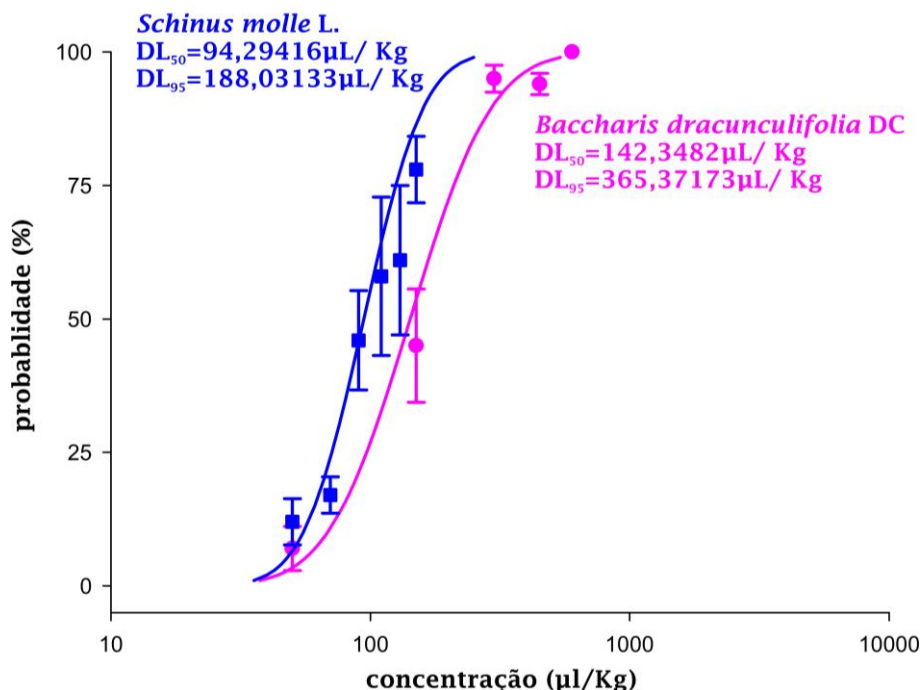


Figura 4: Curvas de probit da toxicidade dos óleos essenciais de *Schinus molle* L.(anacaita) e *Baccharis dracunculifolia* DC (alecrim-do-campo) sobre adultos de *Sitophilus* após 96 horas da aplicação, em duas doses letais(DL_{50} e DL_{95}).As barras de erro indicam o desvio padrão da média.Resposta subletal de *Sitophilus*.

A exposição de diferentes populações geográficas de *Sitophilus spp.* Ao OEs na CL80 (150 $\mu\text{L}/\text{kg}$ para *S. molle* e 435 $\mu\text{L}/\text{kg}$ para *B. dracunculifolia*) por 24 horas revelou variações significativas. O óleo essencial de *Schinus molle* revela uma mortalidade geralmente menor, mas que varia significativamente entre populações geograficamente distintas (Figura 5A). O óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* apresentou maior eficácia no controle de *Sitophilus* quando comparado com o óleo essencial de *S. molle* L., em diferentes populações de *Sitophilus* em 24 horas, atingindo mortalidades superiores a 90% em várias populações, como Jacarezinho, Piracicaba e Nacional (Figura 5B).

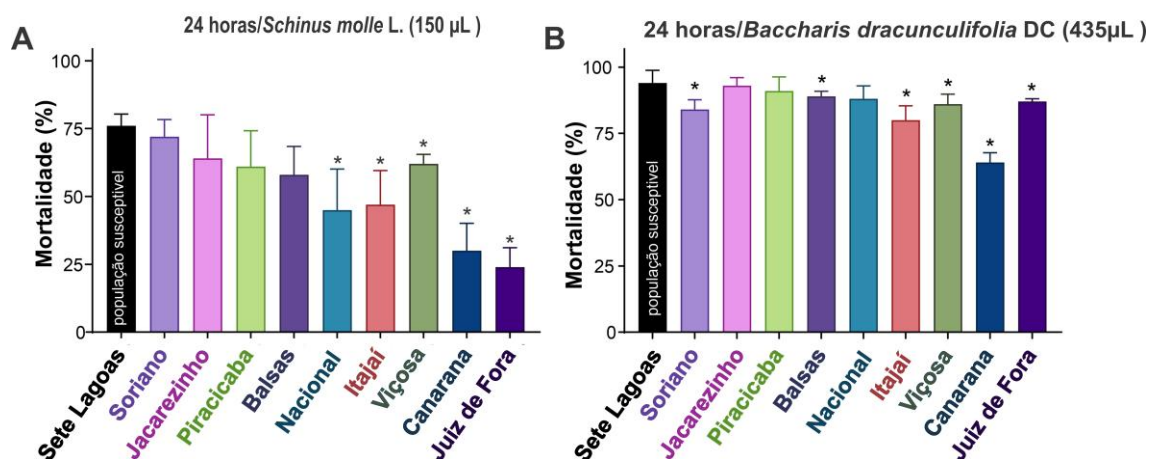


Figura 5: Mortalidade (%) de diferentes populações de *Sitophilus* expostas por 24 horas aos óleos de essenciais de *Schinus molle* L. (anacauita) a 150 µL/kg (A) e *Baccharis dracunculifolia* DC (alecrim-do-campo) a 435 µL/kg (B). A população “Sete Lagoas” foi utilizada como referência suscetível. As barras representam a média ± erro padrão, e o asterisco (*) indica diferença significativa em relação à população suscetível ($p < 0,05$).

4.3 Teste de controle populacional e déficit alimentar de *Sitophilus*

Em relação ao consumo de grãos pelo *Sitophilus spp.* oriundos de Canarana/MT, o grupo controle ($R^2 = 0,99$; $F_{1,2} = 412,28$; $P=0,002$) teve uma taxa de consumo de grãos constante seguindo o seu crescimento populacional, com um crescimento exponencial ao longo do tempo, mesmo com os insetos em condições ideais, sem exposição a compostos bioativos (Figura 6A). Na dosagem de 42 µL/kg ($R^2 = 0,99$; $F_{1,2} = 299,34$; $P=0,003$) embora tenha ocorrido uma redução inicial no consumo, o valor do expoente (0,46) demonstra aceleração no consumo ao longo do tempo, superando até o controle nas últimas semanas. Na dosagem de 76µL/kg ($R^2 = 0,99$; $F_{1,2} = 345,07$; $P=0,003$) apresentou uma maior eficiência na supressão do consumo alimentar, apresentando valores menores nas primeiras 10 semanas, quando comparado com os outros tratamentos, no qual o expoente (0,62) sugere uma tendência de aceleração e um coeficiente inicial muito baixo (0,011) (Figura 6B).

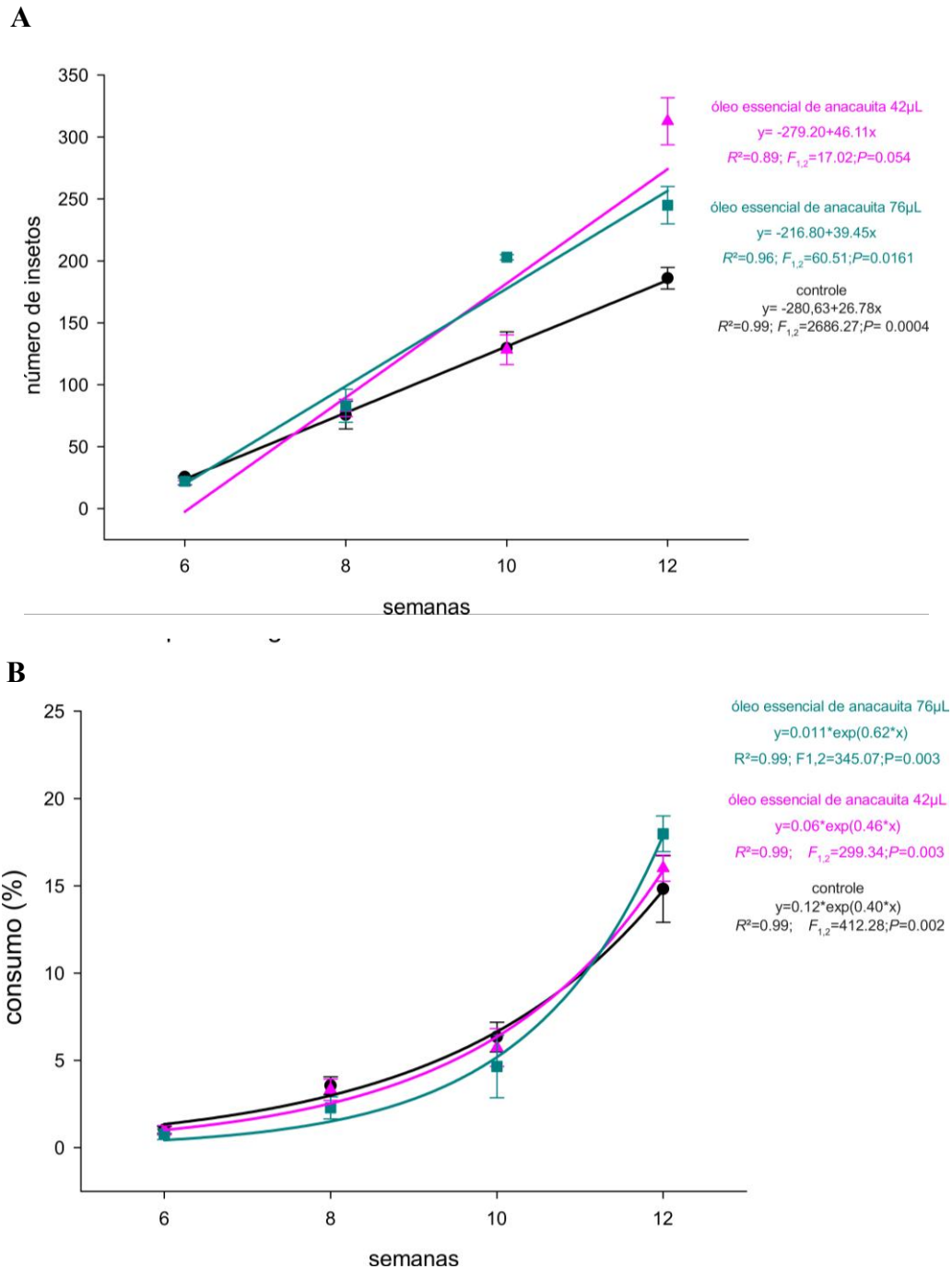
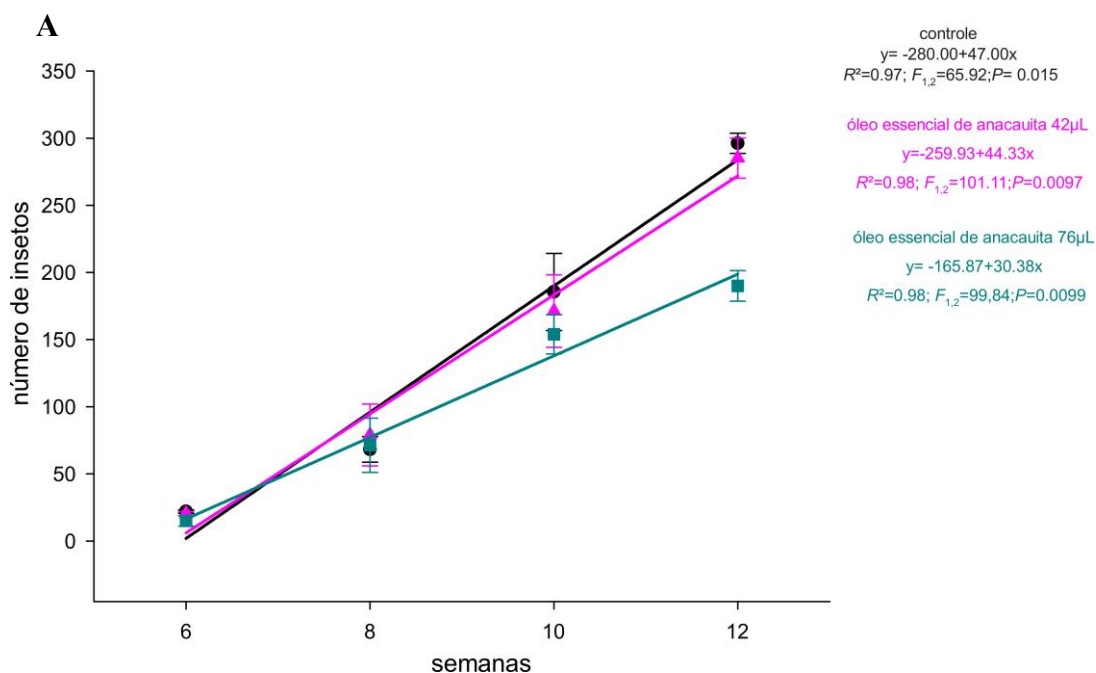


Figura 6: Crescimento populacional (A) e percentual de consumo (B) de *Sitophilus zeamais* provenientes de Canarana (MT), ao longo de 6 a 12 semanas de armazenamento de grãos tratados com óleo essencial de *Schinus molle* L. (anacaita) nas concentrações de 42 µL e 76 µL, comparados ao controle. As curvas e equações representam os ajustes obtidos para cada tratamento, com respectivos coeficientes de determinação (R^2) e valores de significância (P). As barras de erro indicam o desvio padrão da média.

O crescimento populacional de *Sitophilus spp.* oriundos de Juiz de Fora/MG (Figura 7A) ao longo das quatro semanas, foi significativamente reduzido com aplicação

do óleo essencial de *S. molle*, especialmente na dose de 76 μ L ($R^2 = 0,98$; $F_{1,2} = 99,84$; $P=0,0099$), em comparação ao controle ($R^2 = 0,97$; $F_{1,2} = 65,92$; $P=0,015$) e a dose de 42 μ L ($R^2 = 0,98$; $F_{1,2} = 101,11$; $P=0,0097$). As equações das regressões lineares mostram que a taxa de crescimento populacional no controle ($y=-280,00+47,00x$) foi mais elevada, quando comparada aos demais tratamentos ($y=-259,93+44,33x$ e $y=-165,87+30,38x$, sendo de 42 μ L e 76 μ L, respectivamente).

As curvas da porcentagem de consumo de grãos de milho por *Sitophilus* (Figura 7B) provenientes de Juiz de Fora/MG, seguem crescimento exponencial, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,98, indicando excelente ajuste dos dados às curvas. A curva do controle exibe o maior consumo, refletindo crescimento acentuado no consumo de grãos ao longo do tempo. A dose de 42 μ L mostra um consumo reduzido em relação ao controle, porém com um coeficiente exponencial maior (0,46) indicando aceleração tardia do consumo. Esses dados reforçam o efeito dose-dependente do óleo essencial de *S. molle* sobre a alimentação de *Sitophilus*, sendo que a maior dose (76 μ L) testada foi significativamente mais eficaz na redução do consumo, conforme indicando pelos valores de $F(111,57)$, quando comparado ao controle e à dose mais baixa.



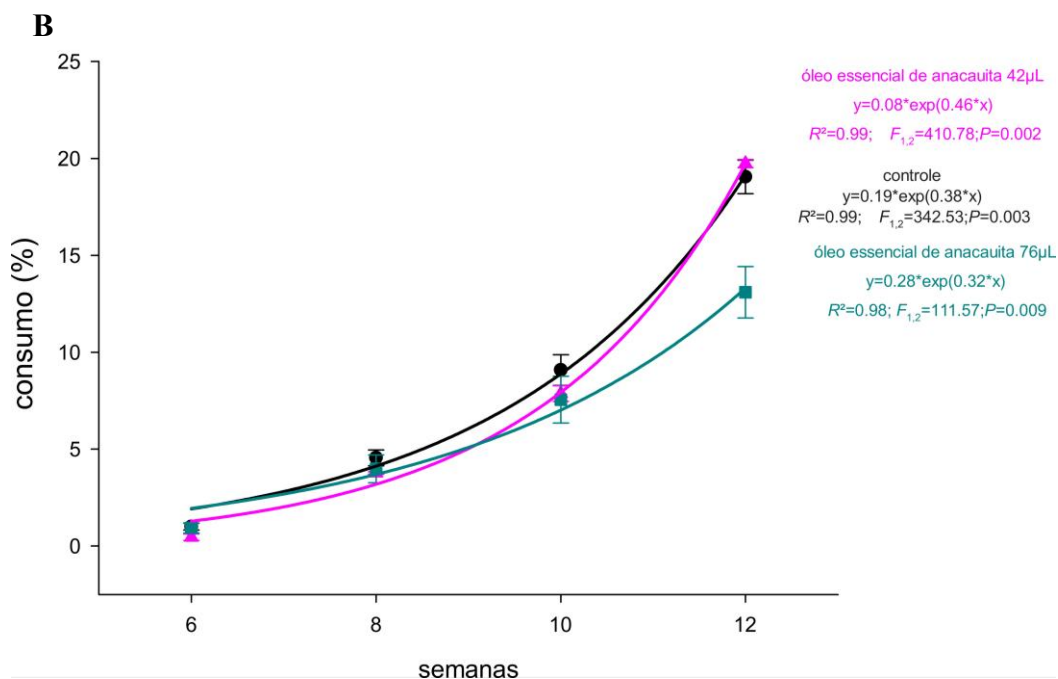


Figura 7: Crescimento populacional (A) e percentual de consumo (B) de *Sitophilus zeamais* provenientes de Juiz de Fora (MG), ao longo de 6 a 12 semanas de armazenamento de grãos tratados com óleo essencial de *Schinus molle* L. (anacauita) nas concentrações de 42 µL e 76 µL, comparados ao controle. As curvas e equações representam os ajustes obtidos para cada tratamento, com respectivos coeficientes de determinação (R^2) e valores de significância (P). As barras de erro indicam o desvio padrão da média.

As doses do óleo essencial não foram suficientes para inibir o crescimento populacional de *S. oryzae* (Figura 8A). As equações de regressão indicaram crescimento mais acentuado nas doses de 42 µL e 76 µL do que no controle com R^2 elevados (0,99 e 0,98, respectivamente). Observa-se um padrão de crescimento exponencial do consumo em todos os tratamentos com óleo essência de *S. molle* no déficit alimentar de *Sitophilus oryzae* da população “Nacional”(Figura 8B). O grupo controle apresentou o maior coeficiente exponencial(0,53), indicando maior taxa de consumo ao longo do tempo.

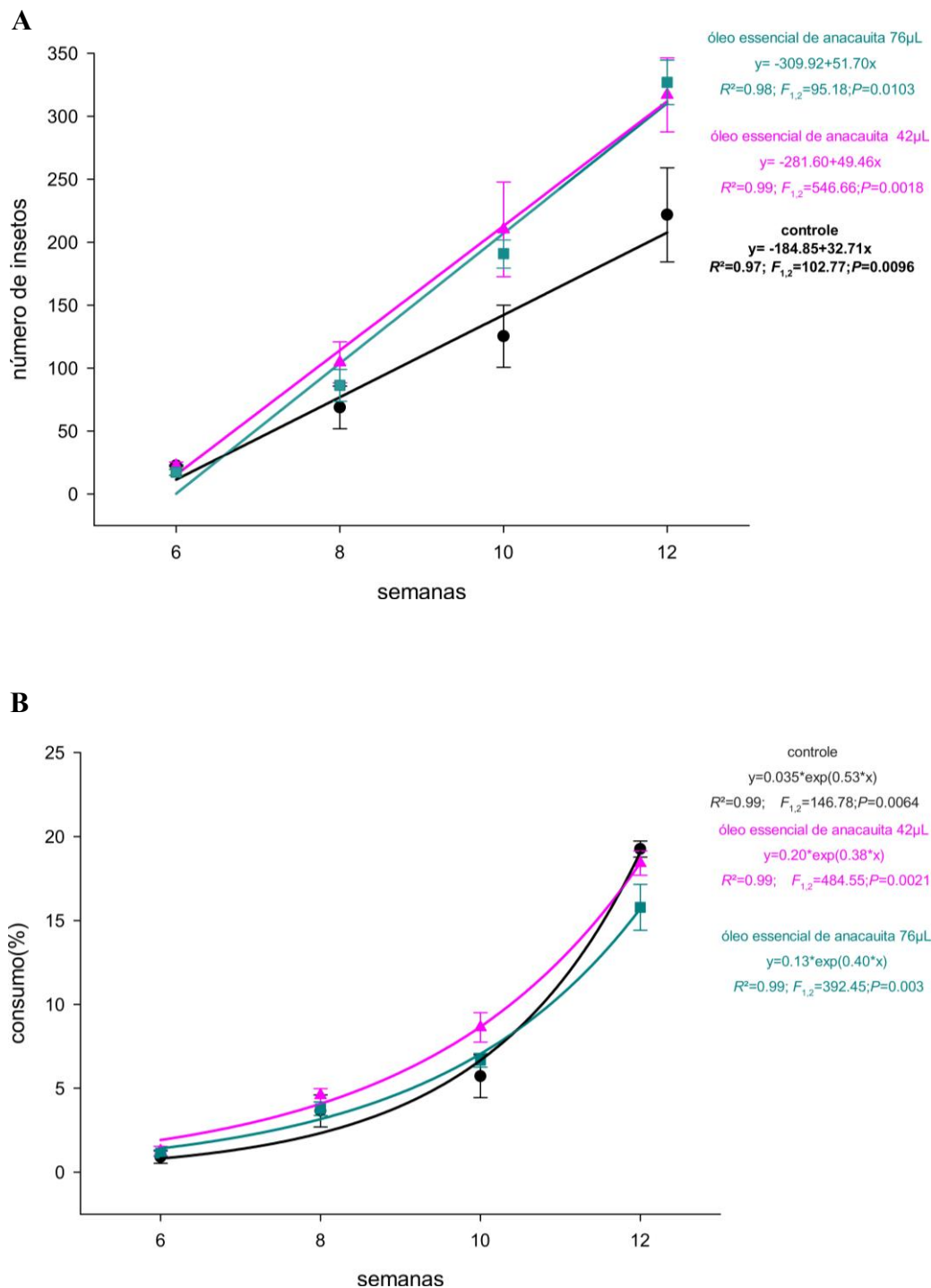
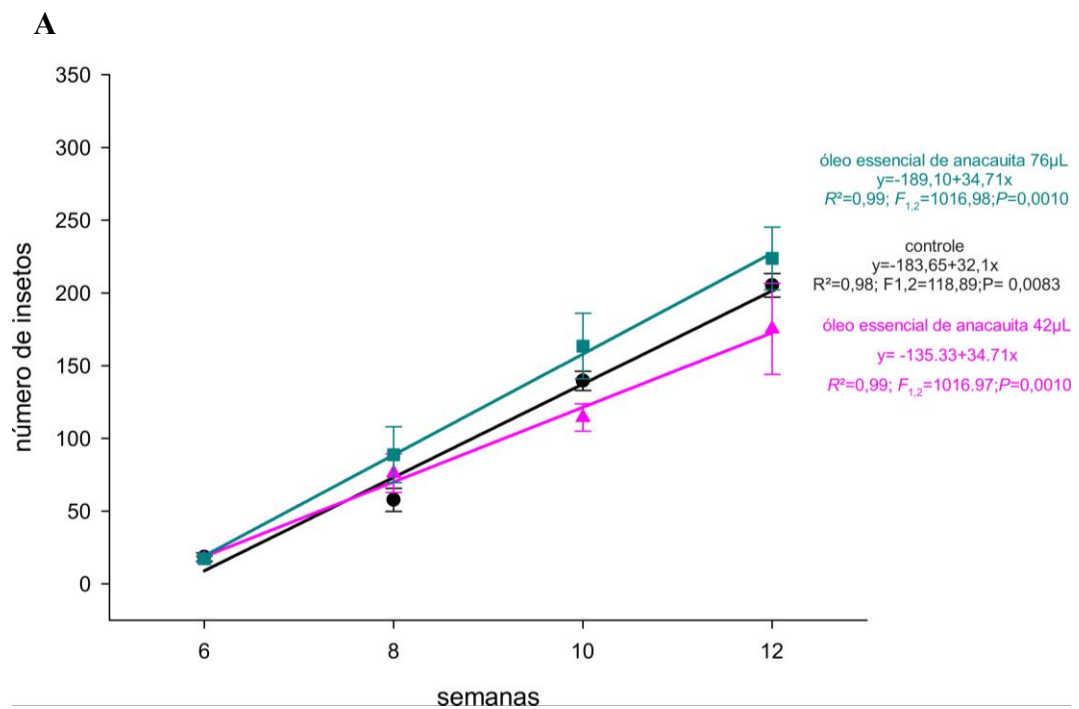


Figura 8: Crescimento populacional (A) e percentual de consumo (B) de *Sitophilus oryzae* proveniente da população “Nacional”, ao longo de 6 a 12 semanas de armazenamento de grãos tratados com óleo essencial de *Schinus molle* L. (anacauita) nas concentrações de 42 µL e 76 µL, comparados ao controle. As curvas e equações representam os ajustes obtidos para cada tratamento, com respectivos coeficientes de determinação (R^2) e valores de significância (P). As barras de erro indicam o desvio padrão da média.

As curvas do crescimento populacional de *Sitophilus zeamais* proveniente de Sete Lagoas/MG(Figura 9A), evidenciam tendência a crescimento linear em todos os

tratamentos, com coeficientes de determinação (R^2) elevados, indicando forte correlação entre o tempo e o aumento populacional de indivíduos. A menor taxa de crescimento foi observada no tratamento com 42 μL do óleo essencial ($y=-135,33+34,71x$), indicando que a concentração foi mais eficaz na contenção populacional. O grupo controle apresentou um crescimento ligeiramente inferior ($y=-183,65+32,1x$) ao tratamento comparado a dosagem de 76 μL , que curiosamente registrou maior número de indivíduos ao final do experimento($y=-189,10+34,71x$).



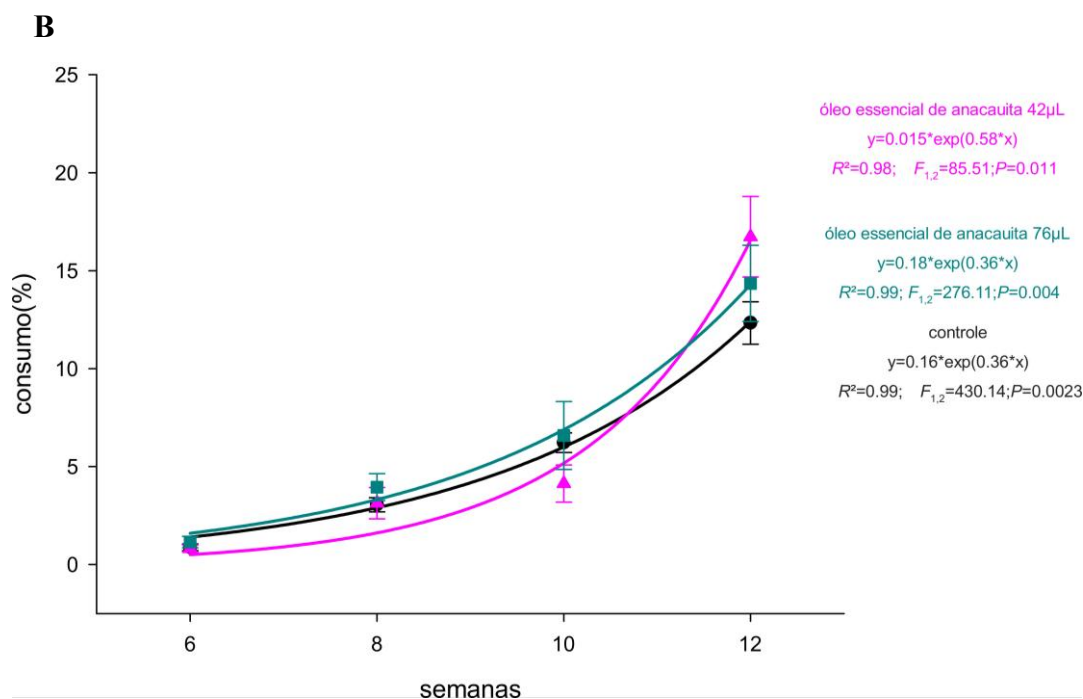


Figura 9: Crescimento populacional (A) e percentual de consumo (B) de *Sitophilus zeamais* proveniente de Sete Lagoas (MG), ao longo de 6 a 12 semanas de armazenamento de grãos tratados com óleo essencial de *Schinus molle* L. (anacauita) nas concentrações de 42 µL e 76 µL, comparados ao controle. As curvas e equações representam os ajustes obtidos para cada tratamento, com respectivos coeficientes de determinação (R^2) e valores de significância (P). As barras de erro indicam o desvio padrão da média.

5 DISCUSSÃO

A rápida mortalidade induzida pelo óleo essencial de *S. molle*, sugere a ocorrência de mecanismos neurotóxicos e/ou desestabilização das membranas celulares dos insetos. Esse efeito letal está associado à presença de monoterpenos (ex: α -pineno e limoneno) que possuem a alta capacidade de penetração na cutícula, inibindo a enzima acetilcolinesterase e provocando a paralisia rápida (Bakkali *et al.*, 2008; Isman, 2020). Essa ação rápida e eficaz é particularmente vantajosa para o controle de pragas em grãos armazenados, uma vez que os danos causados por insetos ocorrem em um curto intervalo de tempo.

Já a ação mais lenta de *B. dracunculifolia* em 24 horas de 18% com 150µL, pode estar ligada a volatilidade diferenciada de seus componentes. Compostos menos voláteis requerem mais tempo para atingir concentrações letais nos tecidos-alvo (Nerio *et al.*, 2008). Contudo, sua eficácia em 96 horas (46%) indica ação cumulativa, possivelmente

por dano oxidativo mitocondrial (Bakkali *et al.*, 2008). A eficácia dos óleos essenciais em doses reduzidas é estratégica para evitar a pressão seletiva que induz resistência (Després *et al.*, 2007). *Schinus molle* se apresenta como uma alternativa promissora, enquanto o *Baccharis dracunculifolia* é eficaz em proteção prolongada.

O óleo essencial de anacaita (*Schinus molle*) apresentou uma curva de dose-resposta com menor variabilidade interindividual, refletindo uma resposta homogênea da população que recebeu o tratamento. Em contraste, o óleo de alecrim-do-campo (*Baccharis dracunculifolia*) teve uma maior heterogeneidade na resposta, indicando uma maior variabilidade na susceptibilidade entre os indivíduos. Essa diferença sugere que os compostos presentes do *S. molle* atuam sinergicamente como monoterpenos (α -pineno, β -pineno e limoneno) promovendo despolarização neuronal e inibição de canais de sódio, mecanismos que explicam sua letalidade rápida (Rattan, 2010).

A análise da toxicidade aguda em 24 horas revelou maior eficácia do OE de *S. molle* em doses baixas, sendo atribuída à alta concentração de monoterpenos, que desestabilizam as membranas celulares e inibem a acetilcolinesterase (Bakkali *et al.*, 2008). Estudos confirmam que os óleos de *Schinus spp.* induzem paralisia rápida em coleópteros (Coitinho *et al.*, 2006), corroborando com os resultados observados.

Já para o OE de *B. dracunculifolia* a ação é modulada por fatores como a volatilidade e a penetração cuticular (Isman, 2006); os compostos como nerolidol e espatulenol exigem maior concentração para romper a barreira lipídica do tegumento (Nerio *et al.*, 2010). Valores próximos aos encontrados no OE de *Schinus molle*, no qual a DL_{50} foi de 98,8 μ L/kg para *Schinus terebinthifolius* contra *S. zeamais* (Yang *et al.*, 2020). Já o OE de *B. dracunculifolia* a DL_{50} foi superior à média, essa diferença pode ser explicada devido diferenças no quimiotipo ou metodologia do experimento (Knaak *et al.*, 2010).

O óleo essencial de *B. dracunculifolia* (alecrim-do-campo) apresentou uma redução significativa nos valores de letalidade, revelando efeito acumulativo de sesquiterpenos (nerolidol, β -cariofileno), tendo uma potencialização temporal, com uma queda acentuada nas DLs, o que demonstra bioacumulação de compostos lipofílicos. Em contraste, o óleo essencial de *S. molle* apresentou estabilidade toxicológica, com uma ação rápida e estabilizada, tendo uma pequena redução nas doses letais

(neurotoxicidade em < 24h), indica ação inseticida rápida e estabilizada nas primeiras 24 horas. Isso acontece porque *S. molle* contém monoterpenos voláteis que atuam por neurotoxicidade aguda, bloqueando canais de sódio e induzindo paralisia rápida em *S. zeamais* (Taponjoui *et al.*, 2005). A estabilidade da toxicidade após 24 horas sugere saturação do mecanismo letal, fenômeno relatado para monoterpenos em insetos de grãos armazenados (Abdelgaleil *et al.*, 2009).

O óleo essencial de *B. dracunculifolia* teve uma potencialização temporal e queda acentuada nas doses letais, demonstrando que houve bioacumulação de compostos lipofílicos (Silva *et al.* 2007). Esses compostos atuam via dano oxidativo mitocondrial e inibição de enzimas detoxificantes, exigindo bioacumulação nos tecidos para efeito máximo (Ferronato *et al.*, 2007). A DL₅₀ de 142,35 µL/kg em 96 horas aproxima-se da eficácia de óleos padrão como *Azadirachta indica* (130 µL/kg), validando seu potencial prático (Isman, 2020). Esta equivalência operacional, associada ao mecanismo de ação distintivo (dano oxidativo cumulativo versus neurotoxicidade aguda), confere ao óleo de *B. dracunculifolia* relevância particular para programas de controle residual em grãos armazenados.

A velocidade de ação do óleo essencial de *Schinus molle* apresentou 2,4 vezes mais rápida em 24 horas, devido à alta volatilidade de seus monoterpenos (Bakkali *et al.*, 2008). A redução da DL₉₅ de *B. dracunculifolia* em 96 h reflete a estabilidade de sesquiterpenos no tegumento dos insetos, ampliando a toxicidade residual (Nerio *et al.*, 2010), sendo ideal para o controle emergencial, enquanto *B. dracunculifolia* oferece proteção prolongada em grãos armazenados (Franz *et al.*, 2011).

Os resultados com o óleo essencial de *Schinus molle* revelam uma mortalidade geralmente menor, mas que varia significativamente entre populações; essa divergência sugere a existência de diferenças genéticas ou adaptações locais, possivelmente influenciadas pela exposição prévia a inseticidas ou a condições ambientais específicas. Variações de resistências entre populações geográficas de *S. zeamais* já foram reportadas (Guedes *et al.* 2006), o que explica a maior tolerância observada nas populações de Juiz de Fora e Canarana, o que destaca a importância de considerar fatores genéticos e ambientais locais ao formular estratégias de manejo.

O óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* apresentou maior eficácia no controle de *Sitophilus* quando comparado com o óleo essencial de *S. molle* L., em diferentes populações de *Sitophilus* em 24 horas, atingindo mortalidades superiores a 90% em várias populações, como Jacarezinho, Piracicaba e Nacional. Isso pode estar associado à presença de compostos fenólicos e sesquiterpenos oxigenados, especialmente nerolidol, espatulenol e α -humuleno, frequentemente relatados como responsáveis por bioatividade inseticida. Os óleos ricos em sesquiterpenos oxigenados, como o espatulenol presente em *Braccharis spp.*, têm ação neurotóxica sobre insetos, afetando seu sistema nervoso central (Pascual-Villalobos e Robledo, 1998).

A dose letal de 76 μ L reduziu o crescimento da população de Canarana/MT em relação à menor dose (42 μ L), mas apesar da aplicação de um volume maior de óleo essencial, a taxa de crescimento foi mais próxima do controle, o que sugere efeito subletal ou possível tolerância da população local ao composto. Já a dose de 42 μ L promoveu maior crescimento, superando até mesmo o grupo controle, isso pode indicar que ocorreu um fenômeno chamado de hormese, no qual pequenas doses de agentes tóxicos estimulam respostas fisiológicas compensatórias em organismos-alvo, favorecendo a sua reprodução e sobrevivência (Calabrese; Baldwin, 2003). Além disso, o histórico genético da população de Canarana pode estar relacionado à resistência natural ou adaptativa, que evidenciou diferenças entre populações de *S. zeamais* quanto à resistência a compostos naturais e sintéticos (Guedes *et al.* 2006).

Em relação ao consumo de grãos pelo *Sitophilus spp.* oriundos também de Canarana/MT, o grupo controle teve uma taxa de consumo de grãos constante seguindo o seu crescimento populacional, com um crescimento exponencial ao longo do tempo, mesmo com os insetos em condições ideais (sem exposição a compostos bioativos). Na dosagem de 42 μ L/kg, embora tenha ocorrido uma redução inicial no consumo, houve uma aceleração no consumo ao longo do tempo, superando até o controle nas últimas semanas. Esse comportamento pode estar relacionado com um possível efeito de adaptação ou compensação alimentar dos insetos frente ao estresse subletal exercido pela dosagem do óleo essencial (Calabrese e Baldwin, 2003). A dosagem de 76 μ L apresentou uma maior eficiência na supressão do consumo alimentar, apresentando valores menores, quando comparado com os outros tratamentos, tendo uma forte inibição do apetite nas fases iniciais do desenvolvimento da população e apresentando um aumento significativo nas últimas semanas, no entanto ficando abaixo dos demais tratamentos.

O crescimento populacional de *Sitophilus spp.* oriundos de Juiz de Fora/MG ao longo das quatro semanas, foi significativamente reduzido com aplicação do óleo essencial de *S. molle*, especialmente na dose de 76 μ L e na dose de 42 μ L . A taxa de crescimento populacional no controle foi mais elevada, quando comparada aos demais tratamentos, indicando uma rápida proliferação do inseto. Já a aplicação do óleo essencial a 76 μ L resultou na menor taxa de crescimento, indicando efeito inibitório do composto volátil sobre a reprodução ou sobrevivência da praga. Esses efeitos podem estar relacionados à presença de compostos bioativos como terpenos, sesquiterpenos e monoterpenos, frequentemente descritos em óleos essenciais de *Schinus molle*, com ação inseticida, repelente e ovicida (Isman,2006).

Existe uma correlação entre o crescimento populacional e o déficit alimentar, demonstrando de forma clara a influência das dosagens do óleo essencial de *S. molle* sobre a fisiologia e o comportamento alimentar do inseto . Observa-se que o controle (sem óleo essencial) apresentou o crescimento populacional mais expressivo ao longo das semanas, refletido por uma curva exponencial com maior inclinação, indicando rápida proliferação da praga em condições ideais de alimentação . Por outro lado, à medida que a concentração do óleo aumentou, houve redução progressiva no crescimento da população, sugerindo efeitos antirreprodutivos ou letais associados aos compostos bioativos presentes no óleo, como monoterpenos e sesquiterpenos, que podem atuar como repelentes ou antinutricionais, reduzindo a atratividade e palatabilidade dos grãos para os insetos (Isman,2006; Regnault-Roger *et al.*,2012).

O consumo alimentar (expressando o déficit alimentar inversamente) também foi drasticamente reduzido nas doses mais altas do óleo essencial. Essa redução no consumo pode estar diretamente ligada à menor taxa de crescimento populacional , uma vez que a limitação alimentar compromete a energia corporal disponível para a reprodução e desenvolvimento larval (Oliveira *et al.*, 2020). Assim, o óleo essencial de *S. molle*, especialmente em doses mais elevadas, atua sinergicamente como agente inibidor do consumo e do crescimento populacional de *S. zeamais*.

As doses do óleo essencial não foram suficientes para inibir o crescimento populacional de *S. oryzae*. Ocorreu crescimento mais acentuado nas doses de 42 μ L e 76 μ L do que no controle. Além disso, a menor eficácia do óleo essencial sobre a linhagem de *S. oryzae* pode estar associada à tolerância enzimática diferencial, como a expressão

aumentada de enzimas detoxificantes (glutathione-S- transferases e monooxigenases), o que já foi relatado em estudos com populações resistentes (Khan *et al.*,2020). A variação na composição química dos óleos essenciais, influenciada por fatores edafoclimáticos e genéticos, pode comprometer sua bioatividade (Isman,2020). Essas diferenças interespecíficas refletem a importância de considerar variabilidade genética geográfica em estratégias de controle com compostos naturais. Além disso, estudos indicam que a resposta dos insetos pode variar de acordo com a linhagem genética e a origem geográfica, o que pode explicar por que a linhagem de *S. oryzae* mostrou crescimento sob doses elevadas do óleo essencial (Nério *et al.* 2010).

Observa-se um padrão de crescimento exponencial do consumo em todos os tratamentos com óleo essência de *S. molle* no déficit alimentar de *Sitophilus oryzae* da população “Nacional”. O grupo controle apresentou a maior taxa de consumo ao longo do tempo, sugerindo comportamento alimentar mais ativo na ausência de substâncias bioativa. O tratamento com 42 µL de óleo essencial revelou um consumo moderadamente elevado , enquanto o tratamento com 76 µL reduziu ainda mais o consumo, mostrando-se eficaz na inibição do consumo alimentar. A diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos evidencia a interferência direta do óleo essencial no comportamento alimentar do inseto. Essa tendência corrobora os resultados prévios sobre os efeitos repelentes e antialimentares dos compostos bioativos presentes nos óleos essenciais (Isman, 2006 e Nerio *et al.* 2010).

O óleo essencial *Schinus molle* L., nas doses de 42 µL e 76 µL, não foi eficaz no controle populacional de *Sitophilus oryzae* (linhagem “Nacional”). Pelo contrário, os dados apontam para um aumento no crescimento populacional e no consumo de grãos ao longo do tempo em ambos os tratamentos, comparados ao grupo controle. Esse comportamento pode ser explicado por um fenômeno conhecido como hormese, no qual substâncias tóxicas, em baixas concentrações, provocando estímulos fisiológicos ou comportamentais benéficos ao organismo-alvo (Regnault-Roder *et al.*,2012). Neste caso, as doses aplicadas podem funcionar como estímulos subletais, aumentando a atividade metabólica dos insetos e resultando em maior consumo de alimento e crescimento populacional.

As curvas do crescimento populacional de *Sitophilus zeamais* proveniente de Sete Lagoas/MG, evidenciam tendência a crescimento linear em todos os tratamentos, com

coeficientes de determinação (R^2) elevados, indicando forte correlação entre o tempo e o aumento populacional de indivíduos. A menor taxa de crescimento foi observada no tratamento com 42 μL do óleo essencial, indicando que a concentração foi mais eficaz na contenção populacional. O grupo controle apresentou um crescimento ligeiramente inferior quando comparado a dosagem de 76 μL , que registrou maior número de indivíduos ao final do experimento. Esse comportamento pode sugerir a ocorrência de efeito hormético, no qual concentrações subletais de compostos bioativos falham em suprimir a reprodução ou sobrevivência dos insetos (Guedes; Cutler,2014). A dose de 76 μL , portanto, pode ter se situado em uma faixa de estimulação reprodutiva para a população local de *S. zeamais*, tornando-se ineficiente como método de controle.

É relevante destacar que a suscetibilidade ao óleo essencial pode variar entre linhagens geográficas, reforçando a necessidade de bioensaio específicos por população. A composição química do óleo essencial de *Schinus molle* é predominantemente composta por monoterpenos como α -pipeno, limoneno e sabineno, conhecidos por suas propriedades inseticidas e repelentes (Ayres *et al.*,2021). No entanto, a eficácia desses compostos depende da dose, tempo de exposição e vias de aplicação (Isman, 2000).

Observa-se um crescimento exponencial do consumo ao longo do tempo em todas as condições avaliadas. No controle ocorreu a maior taxa acumulada de consumo ao final das 12 semanas e um consumo rápido e consistente ao longo do tempo. No início do período (semanas 6 a 8), os grupos de controle e de 76 μL de óleo essencial têm um consumo um pouco maior do que o grupo de 42 μL . No entanto, a partir da semana 10, o grupo que recebeu 42 μL de óleo essencial de *S. molle* começou a ultrapassar os outros dois grupos, e na semana 12, seu consumo é significativamente maior e a dose 76 μL , por outro lado, apresentou um efeito similar ao do controle. Esse aumento abrupto sugere que o efeito foi transitório, com provável redução da atividade dos compostos ao longo do tempo, possivelmente por volatilização ou degradação natural. Esse fenômeno pode estar relacionado a mecanismos adaptativos ou mesmo a efeito herméticos, nos quais doses subletais inicialmente inibitórias passam a estimular o consumo após certa exposição (Duke *et al.*,2006).

Embora a dose de 76 μL tenha aumentado o crescimento populacional de *S. zeamais*, seu efeito sobre o consumo dos grãos foi similar ao do controle. Em contraste, a dose de 42 μL possivelmente ocasionou o atraso inicial do consumo, mas resultou em

maior déficit alimentar final. Essa dissociação entre reprodução e alimentação pode indicar diferentes mecanismos de ação do óleo essencial sobre os sistemas fisiológicos dos insetos, que destacam que óleos essenciais podem atuar tanto como inibidor de crescimento quanto como moduladores do apetite em insetos (Regnault-Roger *et al.*,2012). Além disso, a capacidade adaptativa da população de Sete Lagoas pode ter influenciado os resultados, nos quais a resposta de insetos a produtos naturais pode variar conforme a origem geográfica e o histórico de exposição a compostos bioativos (Isman , 2006).

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse trabalho evidenciam o potencial inseticida do óleo essencial de *Schinus molle* (anacauita) e *Baccharis dracunculifolia* DC (alecrim-do-campo) sobre populações de *Sitophilus zeamais*.

Os ensaios de dose-resposta permitiram caracterizar perfis toxicológicos distintos e complementares :o OE de *S. molle* demonstrou uma ação rápida com uma LD_{50} de 111,26 μ L/kg em 24 horas, atribuída a presença de monoterpenos voláteis em sua composição. Em contrapartida, o óleo essencial de *B. dracunculifolia* demonstrou efeito cumulativo, com redução de 46,2% na LD_{50} entre 24 e 96 horas, associado à ação de sesquiterpenos oxigenados.

A avaliação da eficácia em diferentes populações geográficas de *Sitophilus spp.* evidenciou a variação na suscetibilidade, com populações de Jacarezinho e Piracicaba mostrando-se mais sensíveis, enquanto Juiz de Fora, Canarana e a população “Nacional” se *S. oryzae* apresentaram maior tolerância. Este resultado não apenas atesta a eficácia do OEs, mas também evidencia a necessidade crítica de considerar a variabilidade populacional no planejamento das estratégias de controle. Os ensaios com doses subletais do óleo essencial de *S. molle* demonstraram respostas complexas, incluindo efeitos supressores significativos sobre o crescimento populacional e consumo alimentar na população de Juiz Fora, enquanto nas populações de Canarana e Sete Lagoas observou-se efeito hormético em baixas concentrações.

Recomenda-se a realização de estudos complementares para a padronização de formulações, avaliação em condições semicomerciais e investigação dos efeitos sobre a

qualidade dos grãos e nos organismos não-alvo, visando a aplicação prática desses compostos no manejo integrado de pragas em grãos armazenados.

7 REFERÊNCIAS

- ABDELGALEIL, S. A. M. *et al.* Fumigant and contact toxicities of monoterpenes to *Sitophilus oryzae* and *Tribolium castaneum*. *Journal of Insect Science*, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2009.
- ABULUDE, F. O. *et al.* Efeito do óleo de palma na proteção de grãos armazenados contra *Sitophilus zeamais* e *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Entomology*, v. 4, p. 393-396, 2007.
- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE GRÃOS: safra 2022/23: décimo levantamento. Brasília, DF: Conab, v. 10, n. 10, jul. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 4 fev. 2024.
- ADAMS, R. P. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. 4. ed. Carol Stream: Allured Publishing Corporation, 2017.
- AHMAD, R. *et al.* Stored grain pests and current advances for their management. *Postharvest Technology - Recent Advances, New Perspectives and Applications*, 2021.
- ALVES, S. B. *et al.* Fungos entomopatogênicos usados no controle de pragas na América Latina. In: ALVES, S. B.; LOPES, R. B. (Org.). *Controle microbiano de pragas na América Latina*. Piracicaba: FEALQ, 2008. p. 69-110.
- ANDRADE, J. C. de. Qualidade do milho safrinha em função do tempo de transporte após a colheita. *Repositório UFGD*, 2015.
- ANTUNES, L. E. *et al.* Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, p. 615-620, 2011.
- ARAÚJO, R. A. *et al.* Enhanced proteolytic and cellulolytic activity in insecticide-resistant strains of maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Journal of Stored Products Research*, v. 44, p. 354-359, 2008.
- ASLAN, I. *et al.* Toxicidade de vapores de óleos essenciais para duas pragas de efeito estufa, *Tetranychus urticae* Koch e *Bemisia tabaci* Genn. *Industrial Crops and Products*, v. 19, p. 167-173, 2004.
- ATAIDE, J. O. *et al.* Exposure to major components of essential oils and their mixtures cause mortality, sublethal effect and behavioral disturbance of *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, v. 9, n. 2, p. 1329-1335, 2020.

AYRES, V. F. S.; OLIVEIRA, M. R.; BALDIN, E. L. L.; CORRÊA, G. M.; GUIMARÃES, A. C.; TAKEARA, R. Chemical composition and insecticidal activity of the essential oils of *Piper marginatum*, *Piper callosum* and *Vitex agnus-castus*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 93, n. 3, e20200616, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120200616>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/kzKbHgLF8KRTt8TnqF7LTfc/?lang=en>. Acesso em: 28 jul. 2025.

BACCI, L. *et al.* Efeito inseticida de óleos essenciais no controle de pragas. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 59, n. 2, p. 150-158, 2015.

BAGAVAN, A. *et al.* Eficácia adulticida e larvicida de alguns extratos de plantas medicinais contra carrapatos, vermes e mosquitos. *Parasitologia Veterinária*, v. 166, p. 286-292, 2009.

BAKKALI, F.; IDAOMAR, M. Efeitos biológicos de óleos essenciais – Uma revisão. *Food and Chemical Toxicology*, v. 26, p. 446-475, 2008.

BAOUA, I. B. *et al.* Performance of triple bagging hermetic technology for postharvest storage of cowpea grain in Niger. *Journal of Stored Products Research*, v. 51, p. 81-85, 2012.

BATISH, D. R. *et al.* Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 256, n. 12, p. 2166-2174, 2008.

BATTA, Y. A. Control of the lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica* F.) by treatments with residual formulations of *Metarhizium anisopliae*. *Journal of Stored Products Research*, v. 41, n. 2, p. 221-229, 2005.

BOYER, S.; ZHANG, H.; LEMPÉRIÈRE, G. A review of control methods and resistance mechanisms in stored-product insects. Cambridge University Press, 30 nov. 2011.

BOTTON, M. O gorgulho do milho *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) como praga em frutíferas de clima temperado. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2005. (Circular técnica, n. 58).

BOTTON, M. *et al.* O gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) como praga em frutíferas de clima temperado. *Circular Técnica 58*. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005.

BOUDA, H. *et al.* Efeito de óleos essenciais de folhas de *Ageratum conyzoides*, *Lantana camara* e *Chromolaena odorata* na mortalidade de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Product Research*, v. 37, p. 103-109, 2001.

BRAGA, B. M. *et al.* Perdas ocasionadas por *Sitophilus* spp. em genótipos comerciais de milho em condições de laboratório. *Nucleus*, v. 7, n. 1, 2010.

BRAGA, L. S. *et al.* Face or flee? Fenitron resistance and behavioral response in populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Journal of Stored Products Research*, v. 47, p. 161-167, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 10 abr. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Projeções do Agronegócio: Brasil 2021/22 a 2031/32: projeções de longo prazo*. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-deve-crescer-36-8-nos-proximos-dez-anos/PROJEESDOAGRONEGCIO20212022a203132.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2024.

BRITO, D. I. V. *et al.* Análise fitoquímica e atividade antifúngica do óleo essencial de folhas de *Lippia sidoides* Cham. e do timol contra cepas de *Candida* spp. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 17, n. 4, p. 836-844, 2015.

BROWER, J. H. *et al.* Biological control. In: SUBRAMANYAN, B.; HAGSTRUM, D. W. *Integrated management of insects in stored products*. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 223-286.

CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Hormesis: the dose-response revolution. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, Palo Alto, v. 43, p. 175–197, 2003. <https://doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.43.100901.140223>.

CANEPPELE, M. A. B. *et al.* Correlation between the infestation level of *Sitophilus zeamais* and the quality factors of stored corn. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 47, n. 4, p. 625-630, 2003.

CASTRO, H. G. *et al.* Avaliação do teor e composição do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* (L.) em diferentes épocas de colheita. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 308-314, 2010.

CHIMBE, C. M.; GALLEY, D. J. Evaluation of material from plants of medicinal importance in Malawi as protectants of stored grain against insects. *Crop Protection*, v. 15, p. 289-294, 1996.

CHU, S. S. *et al.* Composição química e atividade inseticida contra *Sitophilus zeamais* dos óleos essenciais derivados de *Artemisia giraldii* e *Artemisia subdigitata*. *Molecular Biology*, v. 17, p. 7255-7265, 2012.

- CI ORGÂNICOS. Centro de Inteligência em Orgânicos. *Grãos orgânicos: cresce o mercado de soja e milho orgânicos*. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://ciorganicos.com.br/sustentabilidade/graos-organicos-cresce-o-mercado-de-soja-e-milho-organicos>. Acesso em: 4 fev. 2024.
- COATS, J. R. *et al.* Toxicity and neurotoxic effects of monoterpenoids. In: HEDIN, P. A. (Ed.). *Naturally occurring pest bioregulators*. Washington: American Chemical Society, 1991. p. 305-316. (ACS Symposium Series 449).
- COATS, J. R. Risks from natural versus synthetic insecticides. *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, v. 39, p. 489-515, 1994.
- COITINHO, R. L. B. C. *et al.* Efeito residual de inseticidas naturais no controle de *Sitophilus zeamais* Mots. em milho armazenado. *Caatinga*, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 183-191, 2006b.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Brasília, DF, v. 12, safra 2024/25, n. 2, segundo levantamento, novembro 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 9 julho 2025.
- CREMLYN, R. J. *Pesticides: preparation and mode of action*. Chichester: John Wiley & Sons, 1979. 240 p.
- DALPASQUALE, V. A. Procedimentos essenciais de recepção e limpeza de grãos. In: LORINI, I. *et al.* (Org.). *Armazenagem de grãos*. Jundiaí: IBG, 2018. p. 149-184.
- DAYAN, F. E. *et al.* Natural products in crop protection. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, Oxford, v. 17, n. 12, p. 4022-4034, 2009.
- DE LEAN, A. *et al.* Simultaneous analysis of families of sigmoidal curves: application to bioassay, radioligand assay, and physiological dose-response curves. *American Journal of Physiology*, v. 235, n. 2, p. 97-102, 1978.
- DESPRÉS, L. *et al.* The evolutionary ecology of insect resistance to plant chemicals. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 22, n. 6, p. 298-307, 2007.
- DHLIWAYO, T.; PIXLEY, K. V. Divergent selection for resistance to maize weevil in six maize populations. *Crop Science*, v. 43, n. 6, p. 2043-2049, 2003.
- DUKE, S. O. *et al.* Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? *Weed Science*, v. 54, n. 3, p. 341–346, 2006.
- ESTRELA, J. L. V. *et al.* Toxicidade de óleos essenciais de *Piper aduncum* e *Piper hispidinervum* em *Sitophilus zeamais*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, p. 217-222, 2006.

FERNANDES, E. T.; FAVERO, S. Óleo essencial de *Schinus molle* L. para o controle de *Sitophilus zeamais* Most.1855 (Coleoptera:Curculionidae) em milho. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 9, n. 1, p. 225-231, 2014.

FERRARI-FILHO, E. *et al.* Controle de gorgulho-do milho submetido ao tratamento térmico. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 10, p. 196-204, 2011.

FERRONATTO, R.; MARCHESAN, E.; PEZENTI, E.; BEDNARSKI, F.; ONOFRE, S. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais produzidos por *Baccharis dracunculifolia* D.C. e *Baccharis uncinella* D.C. (Asteraceae). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 17, n. 2, p. 224-230, abr./jun. 2007.

FIELDS, P.; KORUNIC, Z. The effect of grain moisture content and temperature on the efficacy of diatomaceous earths from different geographical locations against stored-product beetles. *Journal of Stored Products Research*, v. 36, p. 1-13, 2000.

FRAGOSO, D. B. *et al.* Caracterização parcial de glutatona-S-transferases em populações resistentes e suscetíveis a piretróides do gorgulho do milho, *Sitophilus zeamais*. *Journal of Stored Products Research*, v. 43, p. 167-170, 2007.

FRANZ, A. R.; KNAAK, N.; FIUZA, L. M. Toxic effects of essential plant oils in adult *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) (Coleoptera, Curculionidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 55, n. 1, p. 116-120, mar. 2011.

G

GARCÍA, M. *et al.* Tóxico e efeitos repelentes do óleo essencial de *Baccharis salicifolia* em *Tribolium castaneum*. *Portuguese Journal of Pest Management Science*, v. 61, p. 612-618, 2005.

GHINI, R.; KIMATI, H. *Resistência de fungos a fungicidas*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000.

GUEDES, R. N. C. Detecção e união de resistência ao DDT e piretróides em *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). 1993. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 67 p.

GUEDES, R. N. C. *et al.* Resistance to DDT and pyrethroids in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, v. 31, p. 145-150, 1995.

GUEDES, R. N. C. *et al.* Mecanismos bioquímicos de resistência a organofosforados em populações de *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) dos Estados Unidos e Brasil. *Bulletin of Entomological Research*, v. 87, p. 581-586, 1997.

GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, E. E.; GUEDES, N. M. P. Resistance to phosphine in stored-product insects. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 9, n. 1, p. 1–5, 2006.

GUEDES, R. N. C.; CUTLER, G. C. Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. *Pest Management Science*, v. 70, n. 5, p. 690–697, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3669>.

GUERRA, M. S. *Receituário caseiro: alternativas para o controle de pragas e doenças de plantas cultivadas e de seus produtos*. Brasília: EMBRATER, 1985. 166 p.

GUO, S. *et al.* A atividade inseticida de compostos vegetais. *Journal of Pest Science*, v. 89, n. 4, p. 987-995, 2016.

HADDI, K. *et al.* Sexual Success after Stress? Imidacloprid-Induced Hormesis in Males of the Neotropical Stink Bug *Euschistus heros*. *PloS one*, v. 11, n. 6, 2016.

HAQUE, M. A. *et al.* Development-inhibiting activity of some tropical plants against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, Oxford, v. 36, p. 281-287, 2000.

HUANG, Y.; HO, S. H. Toxicity and antifeedant activities of cinnamaldehyde against the grain storage insects, *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus zeamais* Mots., 1865. *Journal of Stored Products Research*, v. 34, p. 11-17, 1998.

ISMAN, M. B. Óleos essenciais de plantas para manejo de pragas e doenças. *Crop Protection*, v. 19, p. 603-608, 2000.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides: for richer, for poorer. *Pest Management Science*, v. 62, n. 1, p. 20-26, 2006.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, v. 51, p. 45-66, 2006.

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

JUMBO, L. O. V.; FARONI, L. R. A.; OLIVEIRA, E. E.; PIMENTEL, M. A.; SILVA, G. N. Potential use of clove and cinnamon essential oils to control the bean weevil, *Acanthoscelides obtectus* Say, in small storage units. *Industrial Crops and Products*, v. 56, p. 27–34, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.02.038>. Acesso em: 08 mar. 2025.

KHAN, S.; UDDIN, M. N.; RIZWAN, M.; KHAN, W.; FAROOQ, M.; SHAH, A. S.; SUBHAN, F.; AZIZ, F.; RAHMAN, K. U.; KHAN, A.; ALI, S.; MUHAMMAD, M.

Mechanism of insecticide resistance in insects/pests. *Polish Journal of Environmental Studies*, Olsztyn, v. 29, n. 3, p. 2023–2030, 2020.

KAPLAN, I. Attracting carnivorous arthropods with plant volatiles: The future of biocontrol or playing with fire? *Biological Control*, v. 60, n. 2, p. 77-89, 2012.

KNAAK, N.; FIUZA, L. M. Potencial dos óleos essenciais de plantas no controle de insetos e microrganismos. *Neotropical Biology and Conservation*, São Leopoldo, v. 5, p. 120-132, 2010.

KORUNIC, Z. Rapid assessment of the insecticidal value of diatomaceous earths without conducting bioassays. *Journal of Stored Products Research*, v. 33, p. 219-229, 1997.

KRONBAUER, E. A. *et al.* Agrotóxicos e os impactos do modelo produtivo atual: estudo de caso sobre a contaminação de recursos hídricos e da água para consumo humano em Encantado, Vale do Taquari, RS. São Leopoldo: Oikos, 2021. p. 53-75.

KUMAR, P. *et al.* Propriedades repelentes, larvicidas e pupicidas de óleos essenciais e suas formulações contra a mosca doméstica, *Musca domestica*. *Veterinary Entomology*, v. 25, p. 302-310, 2011.

LEANDRO, R. *et al.* Toxicidade por fumigação, contato e ingestão de óleos essenciais para *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1885 (Coleoptera: Curculionidae). *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 1, p. 172-178, 2011.

LEE, C.-Y. Sublethal effects of insecticides on longevity, fecundity and behaviour of insect pests: a review. *Journal of Bioscience*, v. 11, n. 1-2, 2000.

LIMA, L. S. Isômeros e isomerismo. *Revista Ciência Elementar*, v. 2, 2014.

LIMA, R. K. *et al.* Potencial inseticida dos óleos essenciais. *Natural Product Research*, v. 27, n. 2, p. 123-130, 2013.

LIU, Z. L.; GOH, S. H. Triagem de ervas medicinais chinesas para bioatividade contra *Sitophilus zeamais* Motschulsky e *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Stored Products Research*, v. 43, p. 290-296, 2007.

LIU, Z. L.; HO, S. H. Bioactivity of essential oil extracted from *Evodia rutaecarpa* Hook f. et Thomas against the grain storage insects, *Sitophilus zeamais* Mots., 1865 and *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Stored Products Research*, v. 35, p. 317-328, 1999.

LORINI, I. *Efeito de pós inertes sobre as pragas de grãos de cevada armazenada Rhizopertha dominica e Sitophilus spp.* Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. (Comunicado Técnico, 62).

LORINI, I. *Manejo integrado de pragas de grãos armazenados*. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. 71 p.

LORINI, I. *Manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados*. Passo Fundo, RS: EMBRAPA TRIGO, 2008. v. 2, 72 p.

LORINI, I. Perdas anuais em grãos armazenados chegam a 10% da produção nacional. *Visão Agrícola*, v. 13, p. 127-129, 2015.

LORINI, I. *et al.* Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas. Brasília, DF: Embrapa Soja, 2015.

LU, Y. *et al.* Toxicidade de fumigação de alicina contra três pragas de produtos armazenados. *Journal of Stored Products Research*, v. 55, p. 48-54, 2013.

LUBIAN, C. T.; TEIXEIRA, J. M.; LUND, R. G.; NASCENTE, P. S.; DEL PINO, F. A. B. Atividade antifúngica do extrato aquoso de *Arctium minus* (Hill) Bernh. (Asteraceae) sobre espécies orais de Candida. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, v. 12, n. 2, p. 157-162, 2010.

MACHUCA-MESA, L. M.; TURCHEN, L. M.; GUEDES, R. N. C. Phosphine resistance among stored product insect pests: A global meta-analysis-based perspective. *Journal of Pest Science*, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01707-0>. Acesso em: 18 mar. 2025.

MANTOVANI, E. C.; PIMENTEL, M. A. G. Colheita e armazenamento. In: GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. G. *Milho: do plantio à colheita*. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2017. p. 328-356

MARCO, C. A. *et al.* Características do óleo essencial de capim-citronela em função de espaçamento, altura e época de corte. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 25, n. 3, p. 429-432, 2007.

MICHAELRAJ, S.; SHARMA, R. K. Fumigant toxicity of neem formulations against *Sitophilus oryzae* and *Rhyzopertha dominica*. *Journal of Agricultural Technology*, Rajamangala, v. 2, n. 1, p. 1-16, 2006.

MOREAU, T. L.; ISMAN, M. B. Combinação de produtos de risco reduzido, culturas armadilhadas e armadilhas pegajosas amarelas para o manejo da mosca branca (*Trialeurodes vaporariorum*) em estufa em pimentões doces (*Capsicum annum*). *Crop Protection*, v. 34, p. 42-46, 2012.

MOTULSKY, H. J.; CHRISTOPOULOS, A. *Fitting models to biological data using linear and non-linear regression: a practical guide to curve fitting*. Oxford: Oxford University Press, 2004. 351 p.

- NERIO, L. S. *et al.* Atividade repelente de óleos essenciais de sete plantas aromáticas cultivadas na Colômbia contra *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera). *Journal of Stored Product Research*, v. 45, p. 212-214, 2009.
- NERIO, L. S. *et al.* Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 1, p. 372-378, 2010.
- NOGUEIRA, G. C. *et al.* Controle e manejo da cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*) no Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo / SP, Brasil, 2022.
- NÖRNBERG, D. S. *et al.* Flutuação populacional e distribuição de *Sitophilus zeamais* em pomares de pessegueiro e macieira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, n. 4, p. 358-364, 2013.
- OLIVEIRA, A. P. *et al.* Óleo essencial de *Lippia sidoides* e seu composto majoritário timol: Toxicidade e resposta à caminhada de populações de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Crop Protection*, v. 112, p. 33-38, 2018.
- OLIVEIRA, E. E. *et al.* Danos e crescimento populacional de populações resistentes e suscetíveis a inseticidas de *Sitophilus zeamais* em milho armazenado. *Journal of Stored Products Research*, v. 39, p. 215-224, 2003.
- OLIVEIRA, J. V.; VENDRAMIM, J. D. Repelência de óleos essenciais e pós vegetais sobre adultos de *Zabrotes subfasciatus* (Boh.) (Coleoptera: Bruchidae) em sementes de feijoeiro. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v. 28, p. 549-555, 1999.
- PAES, J. L. *et al.* Ação fumigante inseticida do óleo essencial de mostarda contra *Sitophilus zeamais* em grãos de milho. *Crop Protection*, v. 34, p. 54-56, 2012.
- PAPACHRISTOS, D. P.; STAMOPOULOS, D. C. Toxicity of vapours of three essential oils to the immature stages of *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, Oxford, v. 40, n. 5, p. 517-525, 2004.
- PARK, I. K. *et al.* Insecticidal activities of constituents identified in the essential oil from leaves of *Chamaecyparis obtusa* against *Callosobruchus chinensis* (L.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Stored Products Research*, Oxford, v. 39, n. 4, p. 375-384, 2003.
- PASCUAL-VILLALOBOS, M. J.; ROBLEDO, A. J. Screening for anti-insect activity in Mediterranean plants. *Industrial Crops and Products*, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 183-194, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(98\)00002-8](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(98)00002-8)
- PEIXOTO, M. F. *et al.* Uso de compostos naturais no controle de pragas. *Crop Protection*, v. 76, p. 45-52, 2015.
- PEREIRA, C. J. *et al.* Organophosphate resistance in the maize weevil *Sitophilus zeamais*: Magnitude and behavior. *Crop Protection*, v. 28, n. 2, p. 168-173, 2009.

- PIMENTEL, M. A. G. *et al.* Phosphine resistance in Brazilian population of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Product Insect*, Oxford, v. 45, n. 9, p. 71-74, 2009.
- PIMENTEL, M. A. G. *et al.* Resistência de *Sitophilus zeamais* a inseticidas protetores de grãos armazenados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 1, p. 19-25, 2009.
- PIMENTEL, M. A. G. *et al.* Resistência à fosfina, taxa de respiração e consequências de aptidão em insetos de produtos armazenados. *Pest Management Science*, v. 63, p. 876-881, 2007.
- PROCÓPIO, S. O. *et al.* Bioatividade de diversos pós de origem vegetal em relação à *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, p. 1231-1236, nov-dez. 2003a.
- RATTAN, R. S. Mecanismo de ação de metabólitos secundários inseticidas de origem vegetal. *Crop Protection*, v. 29, p. 913-920, 2010.
- REGNAULT-ROGER, C. *et al.* Essential Oils in Insect Control: Low-Risk Products in a High-Stakes World. *Annual Review of Entomology*, v. 57, n. 1, p. 405-424, 2012.
- REZENDE, J. L. Composição química e atividades biológicas dos óleos essenciais das cascas de duas variedades de *Citrus sinensis* e das flores de *Psidium guajava*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, 2020.
- RESTELLO, R. M. *et al.* Efeito do óleo essencial de *Tagetes patula* L. (Asteraceae) sobre *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 53, n. 2, p. 304-307, 2009.
- RIBEIRO, B. M. *et al.* Insecticide resistance and synergism in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, v. 39, p. 21-31, 2003.
- RODRIGUES, J. B. Coletivo de mulheres campesinas, produção de extratos vegetais e potencial de uso no milho agroecológico. 2023. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Universidade Federal de Viçosa.
DOI:<https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.289>
- ROEL, A. R. Utilização de plantas com propriedades inseticidas: uma contribuição para o Desenvolvimento Rural Sustentável. *Interações: Revista Internacional de Desenvolvimento Local*, Campo Grande, v.1, n.2, p. 43-50, 2001.
- SANTOS, J. C. *et al.* Toxicidade fumigante do isotiocianato de alila para populações do besouro vermelho *Tribolium castaneum*. *Journal of Stored Products Research*, v. 47, p. 238-243, 2011.

SAVARY, S., WILLOCQUET, L., PETHYBRIDGE, S.J. *et al.* The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nat Ecol Evol* 3, 430–439 (2019).

SEIXAS, M. A. Segurança alimentar pós-Covid-19: megatendências dos sistemas alimentares globais. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

SHAAYA, E. *et al.* Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, v. 33, p. 7-15, 1997.

STRIQUER, L. P.; BERVIAN, C. I. B.; Faveiro, S. Ação repelente de plantas medicinais e aromáticas sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: curculionidae). *Ensaio e Ciência*, v.10, p.55-62, 2006.

SILVA, P. H. *et al.* Controle alternativo de *Sitophilus zeamais* Mots., 1855 (Col.: Curculionidae) em grãos de milho. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 2, p. 902-905, 2007.

TAPONDJOU, L. A. *et al.* Bioactivities of cymol and essential oils of *Cupressus sempervirens* and *Eucalyptus saligna* against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium confusum* du Val. *Journal of Stored Products Research*, v. 41, n. 1, p. 91-102, 2005.

THORMAR, H. Lipídios e óleos essenciais como agentes antimicrobianos. Londres: John Wiley & Sons Ltd., 2012.

WALE, M.; ASSEGIE, H. Eficácia do óleo de mamona (*Ricinus communis* L.) contra gorgulhos do milho (*Sitophilus zeamais* Mots.) no noroeste da Etiópia. *Journal of Stored Products Research*, v. 63, p. 38-41, 2015.

WHALON, M. E. *et al.* *Resistência global a pesticidas em artrópodes*. Cambridge: CABI, 2008.

YANG, Y; ISMAN, M. B.; TAK, Jun-Hyung. Atividade inseticida de 28 óleos essenciais e de um produto comercial contendo óleo essencial de casca de *Cinnamomum cassia* contra *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Insects*, v. 11, n. 8, p. 474, jul. 2020. DOI: 10.3390/insects11080474.

ZHANG, C. *et al.* Estudos comparativos sobre complexos de cadeia de transporte de elétrons mitocondriais de *Sitophilus zeamais* tratados com isotiocianato de alila e fosfeto de cálcio. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 126, p. 70-75, 2016.

ZHU, K. Y.; RIDDIFORD, L. M. Otimização da eficiência de interferência de RNA nas larvas da lagarta-chifre do tabaco, *Manduca sexta*. *Arquivos de Bioquímica e Fisiologia de Insetos*, v. 55, p. 37-46, 2003.

ZIMMERMANN, R. C. *et al.* Insecticide activity and toxicity of essential oils against two stored-product insects. *Crop Protection*, v. 144, p. 105575, 2021.