JOURNAL OF EDUCATION, SCIENCE AND HEALTH – JESH
Revista de Educação, Ciência e Saúde
DOI: https://www.doi.org/10.52832/jesh.v6i4.697
Home page: https://bio10publicacao.com.br/jesh
e-ISSN: 2763-6119

POTENCIAL INSETICIDA DE ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS VEGETAIS NO CONTROLE DO *Sitophilus zeamais* NO ARMAZENAMENTO DE MILHO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

INSECTICIDAL POTENTIAL OF ESSENTIAL OILS AND PLANT EXTRACTS IN THE CONTROL OF *Sitophilus zeamais* IN CORN STORAGE: A LITERATURE REVIEW

POTENCIAL INSECTICIDA DE ACEITES ESENCIALES Y EXTRACTOS VEGETALES EN EL CONTROL DE *Sitophilus zeamais* DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE MAÍZ: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Talia Silva Ribeiro*[1]; Carlos Eduardo Pereira[2]; Rosane Rodrigues da Costa Pereira[3]

[1] Mestre em Saúde, Ambiente e Biodiversidade, Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB). Doutoranda em Biossistemas, UFSB, Centro de Formação em Ciências Agroflorestais, Itabuna, Bahia, Brasil; [2]Doutor em Agronomia, Universidade Federal de Lavras (UFLA). Professor Adjunto da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Centro de Formação em Ciências Agroflorestais, Itabuna, Bahia, Brasil; [3]Doutora em Agronomia, Universidade Federal de Lavras (UFLA). Professora Adjunto da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Centro de Formação em Ciências Agroflorestais, Itabuna, Bahia, Brasil.
*Autor correspondente: taliasribeiro2@gmail.com.

Recebido: 09/06/2026 | **Aprovado**: 10/10/2026 | **Publicado**: 16/10/2026

Resumo: *Sitophilus zeamais*, o gorgulho-do-milho, é uma praga que compromete a qualidade dos grãos armazenados. O uso de inseticidas químicos sintéticos, apesar de eficaz controle desse inseto, causa impactos ambientais e seleciona formas resistentes da praga. Alternativas como óleos essenciais e extratos vegetais emergem como acessíveis, seguros para os seres humanos e sustentáveis. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma pesquisa bibliográfica sobre o potencial inseticida de óleos essenciais e extratos vegetais no controle de *S. zeamais* durante o armazenamento de milho. Utilizando bases de dados como Pubmed, SCIELO, Periódicos Capes e Google Acadêmico, foram selecionados artigos publicados entre 2019 e 2024, excluindo monografias, dissertações, teses e literatura cinzenta. Foram selecionados 22 estudos para avaliação integral, todos com resultados promissores contra *S. zeamais*. Quanto às modalidades de teste, os bioensaios de fumigação predominaram em 78,95% dos trabalhos analisados, enquanto os ensaios por contato corresponderam a 47,37%. Foram identificados uma ampla diversidade de espécies com propriedades inseticidas e repelentes promissoras. Os óleos essenciais dos gêneros *Citrus* e *Lippia* foram os mais citados, destacando-se pelo potencial inseticida contra gorgulhos. Esses resultados podem orientar futuras pesquisas na seleção de espécies vegetais promissoras para o controle de *S. zeamais*.

Palavras-chave: Gorgulho do milho. Atividade inseticida. Grãos armazenados. Controle de pragas. Sustentabilidade agroindustrial.

Abstract: *Sitophilus zeamais*, the maize weevil, is a pest that compromises the quality of stored grains. Although the use of synthetic chemical insecticides provides effective control of this insect, it causes environmental impacts and selects for resistant forms of the pest. Alternatives such as essential oils and plant extracts have emerged as accessible, human-safe, and sustainable options. This study aims to present a literature review on the insecticidal potential of essential oils and plant extracts in the control of *S. zeamais* during maize storage. Using databases such as PubMed, SciELO, CAPES Journals, and Google Scholar, articles published between 2019 and 2024 were selected, excluding monographs, dissertations, theses, and grey literature. A total of 22 studies were selected for full-text evaluation, all reporting promising results against *S. zeamais*. Regarding the assay types, fumigation bioassays predominated, accounting for 78.95% of the analyzed studies, whereas contact assays represented 47.37%. A wide variety of plant species with promising insecticidal and repellent properties were identified. Essential oils from the genera *Citrus* and *Lippia* were the most frequently cited, standing out for their insecticidal potential against weevils. These results may guide future research in the selection of promising plant species for the control of *S. zeamais*.

Keywords: Corn weevil. Insecticidal activity. Stored grains. Pest control. Agroindustrial sustainability

Resumen: *Sitophilus zeamais*, el gorgojo del maíz, es una plaga que compromete la calidad de los granos almacenados. El uso de insecticidas químicos sintéticos, a pesar de controlar eficazmente este insecto, causa impactos ambientales y selecciona formas resistentes de la plaga. Alternativas como los aceites esenciales y los extractos vegetales surgen como opciones accesibles, seguras para los seres humanos y sostenibles. Este trabajo tiene como objetivo presentar una revisión bibliográfica sobre el potencial insecticida de aceites esenciales y extractos vegetales en el control de *S. zeamais* durante el almacenamiento de maíz. Utilizando bases de datos como PubMed, SciELO, Periódicos CAPES y Google Académico, se seleccionaron artículos publicados entre 2019 y 2024, excluyendo monografías, disertaciones, tesis y literatura gris. En la revisión, se seleccionaron 22 estudios para evaluación completa, todos con resultados prometedores frente a *S. zeamais*. En cuanto a las modalidades de ensayo, los bioensayos de fumigación predominaron, con un 78,95% de los trabajos analizados, mientras que los ensayos por contacto representaron el 47,37%. Se identificó una amplia diversidad de especies con propiedades insecticidas y repelentes prometedoras. Los aceites esenciales de los géneros *Citrus* y *Lippia* fueron los más citados, destacándose por su potencial insecticida contra gorgojos. Estos resultados pueden orientar futuras investigaciones en la selección de especies vegetales prometedoras para el control de *S. zeamais*.

Palabras-clave: Gorgojo del maíz. Actividad insecticida. Granos almacenados. Control de plagas. Sostenibilidad agroindustrial.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é uma das culturas agrícolas mais cultivadas globalmente, desempenhando um papel fundamental como matéria-prima industrial e como alimento básico para pequenos agricultores. Durante o armazenamento em silos e armazéns, os grãos são frequentemente infestados por insetos, com destaque para as espécies do gênero *Sitophilus*. Esses insetos causam danos significativos, como perda de peso, redução do vigor germinativo, além de diminuir os valores nutricionais e de mercado dos grãos. Em casos extremos, as infestações podem resultar em perdas de até metade da produção, gerando graves prejuízos financeiros e comprometendo a segurança alimentar e a renda de famílias envolvidas na agricultura de subsistência (Dougoud *et al.*, 2019; Ileke *et al.*, 2020; Bawa *et al.*, 2022; Mohammad *et al.*, 2024).

As pragas pós-colheita, como *S. zeamais*, representam um grave problema econômico, com perdas superiores a 10% (Abdullahi & Dandago, 2021; Cano *et al.*, 2024). López-Castillo *et al.* (2018) e Ileke *et al.* (2020) destacaram que gorgulhos podem causar de 40% a até 60% de perdas durante o armazenamento, especialmente em períodos de 3 a 6 meses. Esse impacto prejudica diretamente a segurança alimentar, sendo mais evidente em países em desenvolvimento, onde o milho é um alimento básico e fonte crucial de sustento para muitas famílias rurais. Além de reduzir a disponibilidade de alimento, essas perdas comprometem o valor de mercado do milho, agravando a vulnerabilidade econômica e social das comunidades afetadas.

Os danos causados por *S. zeamais* têm início com as fêmeas adultas, que perfuram os grãos para depositar seus ovos. Durante seu ciclo de vida, que ocorre integralmente no interior do grão, o inseto passa por todos os estágios larvais, alimentando-se do amido e do germe. Esse processo resulta na redução do valor nutricional do grão. Além disso, o adulto, ao emergir do grão para alimentar-se, provoca perfurações adicionais que agravam os danos físicos e econômicos (De Groote *et al.*, 2013; Acheampong *et al.*, 2019).

Estratégias para o manejo do inseto-praga incluem o uso de estruturas herméticas de armazenamento e a aplicação de inseticidas químicos. No entanto, essas abordagens são muitas vezes inviáveis para pequenos agricultores em regiões de baixa renda devido aos altos custos e/ou à falta de acesso (López-Castillo *et al.*, 2018).

Além disso, o uso de inseticidas químicos apresenta desafios adicionais, como toxicidade para mamíferos, impactos ambientais negativos e o desenvolvimento de resistência por parte das pragas, agravado pela globalização do comércio, que facilita a disseminação desses insetos (Cano *et al.*, 2024).

Óleos essenciais e outros extratos vegetais possuem várias propriedades biológicas, incluindo propriedades antimicrobianas, antioxidantes e inseticidas (Mssillou *et al.*, 2022; Tourabi *et al.*, 2023). Esses compostos botânicos oferecem uma alternativa de fácil acesso para pequenos agricultores (Ileke *et al.*, 2020; Reddy & Chowdary, 2021). Estes produtos têm se destacado por suas propriedades biodegradáveis, ecológicas e pela ausência de resistência nas pragas (Bawa *et al.*, 2022; Isman, 2006). Além disso, os produtos vegetais naturais são considerados acessíveis, seguros para os seres humanos e ecologicamente sustentáveis, sendo uma solução eficaz no controle de infestações em grãos armazenados (Ileke *et al.*, 2020).

A atenção crescente a óleos essenciais e extratos vegetais acompanha a demanda por métodos de controle mais naturais e sustentáveis, impulsionada pela preocupação ambiental com os agrotóxicos sintéticos (Hoffmann, 2020). Nesse contexto, este estudo revisa a literatura sobre o potencial inseticida de óleos essenciais e extratos vegetais no controle de S. *zeamais* durante o armazenamento de milho, evidenciando essas alternativas naturais como opções eficazes e sustentáveis para a agricultura.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Desenvolveu-se um estudo bibliográfico de abordagem qualitativa e descritiva, com a finalidade de examinar o potencial inseticida de óleos essenciais e extratos vegetais no controle de S. *zeamais* durante o armazenamento de milho. O levantamento estruturou-se em quatro etapas: formulação da pergunta norteadora; consulta às bases de dados; seleção dos estudos conforme critérios de inclusão e exclusão; e sistematização e análise das informações.

Pergunta norteadora

A pergunta norteadora foi delimitada a partir dos elementos população, intervenção, comparação e desfecho, empregados para definir o escopo da busca (Quadro 1).

Quadro 1 – Elementos norteadores da pergunta de pesquisa (população, intervenção, comparação e desfecho).

Elemento norteador		**Descrição**
População	P	Gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*) em milho armazenado
Intervenção	I	Óleos essenciais e extratos vegetais com atividade inseticida
Comparação	C	Inseticidas químicos sintéticos
Desfecho	O	Potencial inseticida e/ou repelente sobre *S. zeamais*

Fonte: Autoria própria (2024).

Com base nesses elementos, definiu-se a pergunta norteadora: "qual o potencial inseticida de óleos

essenciais e extratos vegetais no controle de *Sitophilus zeamais* em milho armazenado?".

Estratégia de Busca

Foram consultadas as bases PubMed, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Periódicos CAPES e Google Acadêmico. Empregaram-se termos controlados, seus sinônimos e termos livres, combinados pelos operadores booleanos "AND" e "OR", respeitando-se as características de busca de cada base (Quadro 2).

Quadro 2 – Descritores e operadores booleanos utilizados na busca por base de dados. Teixeira de Freitas, BA, Brasil, 2024.

BASES	ESTRATÉGIA DE BUSCA
PubMed, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Periódicos CAPES	(1) "óleo essencial" OR "extrato vegetal" AND "*Sitophilus zeamais*"; (2) "essential oil" OR "plant extract" AND "*Sitophilus zeamais*"; (3) "insecticidal" AND ("essential oil" OR "plant extract") AND "*Sitophilus zeamais*"
Google Acadêmico	(1) "essential oil" OR "plant extract" AND "*Sitophilus zeamais*"

Fonte: Autoria própria (2024).

A recorte temporal de janeiro de 2019 a junho de 2024 foi adotado por delimitar a produção científica mais recente sobre o tema e por corresponder ao período em que a coleta de dados foi conduzida. Os critérios de inclusão e exclusão aplicados na seleção estão descritos na Quadro 3.

Quadro 3 – Critérios de inclusão e exclusão adotados na seleção dos estudos.

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
Estudos experimentais de dados primários publicados entre janeiro de 2019 e junho de 2024; que avaliaram a atividade inseticida e/ou repelente de óleos essenciais ou extratos vegetais sobre S. *zeamais*; com descrição do tipo de teste e dos resultados de mortalidade e/ou repelência; nos idiomas português, inglês e espanhol; disponíveis na íntegra.	Literatura cinzenta (monografias, dissertações, teses, resumos de congressos, capítulos de livro e notas editoriais); revisões e metanálises; estudos que não avaliaram S. *zeamais*; estudos com compostos distintos de óleos essenciais ou extratos vegetais; artigos indisponíveis na íntegra; estudos duplicados.

Fonte: Autoria própria (2024).

Seleção dos estudos

Os estudos identificados nas bases de dados foram exportados para o software Rayyan®, no qual se procedeu à eliminação das duplicatas e à triagem conforme os critérios previamente estabelecidos. A pré-seleção considerou título, resumo e palavras-chave; quando essas informações eram insuficientes, procedeu-se à leitura na íntegra. Os artigos indisponíveis por completo foram excluídos, e os demais foram avaliados integralmente quanto à aderência à pergunta norteadora.

A busca inicial identificou 63 registros no conjunto das bases consultadas. A seleção percorreu quatro momentos: identificação nas bases, remoção de duplicatas, triagem por título e resumo, e leitura na íntegra. Ao final, 41 registros foram excluídos. Foram selecionados 22 estudos de dados primários, sendo 19 referentes a óleos essenciais e 3 a extratos vegetais.

Os dados dos estudos selecionados foram organizados em planilha do software Microsoft Excel®, registrando-se título, autores, ano de publicação, palavras-chave, espécies vegetais utilizadas, tipo de bioensaio (contato, fumigação, repelência ou aplicação tópica) e principais resultados. Elaborou-se um quadro-síntese com as principais informações de cada estudo. As informações foram analisadas de forma descritiva e interpretativa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os 22 estudos analisados avaliaram a atividade inseticida e/ou repelente de óleos essenciais e extratos vegetais sobre *Sitophilus zeamais*, publicados entre 2019 e 2024. Predominaram os óleos essenciais, testados por fumigação, enquanto os extratos vegetais foram avaliados por contato, repelência e aplicação tópica. O Quadro 4 sintetiza os estudos, com título, autor/ano, periódico de publicação, classificação Qualis e principais achados.

Quadro 4 – Síntese dos estudos analisados sobre o potencial inseticida de óleos essenciais, óleo fixo e extratos vegetais no controle de *S. zeamais*.

Título	Autor/Ano	Revista	Qualis	Principais achados
Óleos essenciais e óleo fixo (n = 19)				
Bioactivity of some Apiaceae essential oils and their constituents against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae)	Rosa *et al.* (2020)	Bulletin of Entomological Research DOI: 10.1017/S0007485319000774	A2	O óleo de *A. graveolens* (rico em (S)-carvona, 66,4%) apresentou toxicidade fumigante (CL50 = 157,1 mg/L de ar) e por aplicação tópica (DL50 = 111,3 µg/adulto). Entre os constituintes, a (S)-carvona foi o mais ativo (CL50 = 51,8 mg/L de ar). Repelência forte no teste de dupla escolha.
Chemical characterization and insecticidal effect against *Sitophilus zeamais* (maize weevil) of essential oil from *Croton rudolphianus* leaves	Ribeiro *et al.* (2020)	Crop Protection DOI: 10.1016/j.cropro.2019.105043	A2	O óleo de *C. rudolphianus* (composto majoritário não identificado, 40,90%; seguido de metil chavicol, 22,96%) foi tóxico por contato (CL50 = 70,64 µL/mL) e fumigação (64 µL/L de ar; mortalidade de 43,75%); por ingestão, CL50 = 102,66 µL/g. Sem efeito repelente.
Chemical composition and insecticidal activity of Indian borage essential oil against maize weevil	Wanna & Krasaetep (2019)	International Journal of GEOMATE DOI: 10.21660/2019.56.4580	A4	O óleo de *P. amboinicus* (carvacrol, 40,49%) causou 100% de mortalidade de *S. zeamais* por contato (25.000 ppm) e por fumigação (250 µL/L de ar).
Chemical composition and toxicity of *Jatropha curcas* seed oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky as affected by pre-extraction treatment of seeds	Babarinde *et al.* (2019)	Biocatalysis and Agricultural Biotechnology DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101333	A2	O óleo fixo de sementes de *J. curcas* teve ácido palmítico como componente predominante. O óleo de sementes torradas causou 84,68% de mortalidade por fumigação a 200 µL/L de ar em 24 h; por contato, a mortalidade foi próxima de 47% a 1,50 µL/cm² em 3 h.

Título	Autor/Ano	Revista	Qualis	Principais achados
An alternative to reduce the use of the synthetic insecticide against the maize weevil *Sitophilus zeamais* through the synergistic action of *Pimenta racemosa* and *Citrus sinensis* essential oils with chlorpyrifos	Brito *et al.* (2021)	Journal of Pest Science DOI: 10.1007/s10340-020-01264-0	A1	Os óleos mais ativos contra *S. zeamais* foram *R. officinalis*, *P. racemosa* var. *ozua* e *C. sinensis*. As misturas binárias apresentaram maior atividade fumigante e repelente (sinergismo). A combinação *P. racemosa*–*C. sinensis*–clorpirifós sinergizou o efeito do inseticida (menor CL95), sem fitotoxicidade nem prejuízo à germinação dos grãos.
Chemical composition, antifungal and insecticidal activities of the essential oils from Tunisian *Clinopodium nepeta* subsp. *nepeta* and *Clinopodium nepeta* subsp. *glandulosum*	Debbabi *et al.* (2020)	Molecules DOI: 10.3390/molecules25092137	A2	Na subsp. *nepeta*, predominou o óxido de piperitona (51,7%). Nas duas amostras da subsp. *glandulosum*, predominou o óxido de piperitenona (39,3% e 27,8%). Os óleos de *glandulosum* apresentaram 92,5% de repelência em 2 h e causaram 97,5–100% de mortalidade de *S. zeamais* em 24 h.
Chemical study and evaluation of insectical properties of African *Lippia citriodora* essential oil	Abdoul-latif *et al.* (2020)	*Journal of Biopesticides* DOI: 10.57182/jbiopestic.13.2.119-126	NC	O óleo de *L. citriodora* apresentou geranial (35,45%), neral (26,11%) e limoneno (14,06%) como componentes majoritários. Após 24 h, os valores de DL50 e DL90 foram, respectivamente, 0,014 ± 0,003 e 0,029 ± 0,004 μL/cm³ para *S. granarius*, 0,010 ± 0,002 e 0,024 ± 0,005 μL/cm³ para *S. oryzae* e 0,010 ± 0,002 e 0,025 ± 0,005 μL/cm³ para *S. zeamais*.
Efficacy of essential oil from *Mosla chinensis* Maxim. cv. Jiangxiangru and its three main components against insect pests	Lu *et al.* (2020)	Industrial Crops & Products DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112237	A1	O óleo de *M. chinensis* (timol 50,60%; β-timol 22,32%; carvacrol 18,44%) apresentou alta atividade fumigante contra *S. zeamais* (CL50 = 53,71 μL/L de ar), sendo o óleo mais tóxico que seus componentes isolados.
Insecticidal activity of 28 essential oils and a commercial product containing *Cinnamomum cassia* bark essential oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky	Yang *et al.* (2020)	Insects DOI: 10.3390/insects11080474	A2	Entre 28 óleos, o de *C. cassia* foi o mais ativo por contato (DL50 = 0,04 mg/cm²) e fumigação. O produto à base de canela matou todos os insetos no recipiente vazio, mas menos de 15% na presença de arroz.
Insecticidal and biochemical activity of essential oil from *Citrus sinensis* peel and constituents on *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*	Oyedeji *et al.* (2020)	Pesticide Biochemistry and Physiology DOI: 10.1016/j.pestbp.2020.104643	A2	O óleo de *C. sinensis* apresentou D-limoneno (59,3%) como constituinte principal. O citral foi o composto mais tóxico por fumigação contra *S. zeamais* (CL50 = 2,02 μL/L de ar), e o limoneno foi o mais tóxico por contato (DL50 = 25,96 μg/adulto).

Título	Autor/Ano	Revista	Qualis	Principais achados
Optimal extraction of *Ocimum basilicum* essential oil by association of ultrasound and hydrodistillation and its potential as a biopesticide against a major stored grains pest	Moura *et al.* (2020)	Molecules DOI: 10.3390/molecules25122781	A2	A extração de *O. basilicum* (estragol e linalol majoritários) por ultrassom aumentou a toxicidade do óleo contra *S. zeamais*; o método analítico foi validado (LOD/LOQ para linalol e estragol).
Essential oils of three *Hypericum* species from Colombia: chemical composition, insecticidal and repellent activity against *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae)	Patiño-Bayona *et al.* (2021)	Records of Natural Products DOI: 10.25135/rnp.192.20.05.1665	A4	Os óleos de *H. mexicanum* e *H. myricariifolium* apresentaram toxicidade fumigante (CL50 = 223,5 e 463,1 µL/L de ar, respectivamente) e repelência superior a 70% entre 6,2 e 22,7 µL/L de ar. Em *H. mexicanum*, predominaram n-nonano (53,08%) e α-pineno (25,28%).
Insecticidal activity of a chemotype VI essential oil from *Lippia alba* leaves collected at Caatinga and the major compound (1,8-cineole) against *Nasutitermes corniger* and *Sitophilus zeamais*	Lima *et al.* (2021)	Pesticide Biochemistry and Physiology DOI: 10.1016/j.pestbp.2021.104901	A2	O óleo de *L. alba* (1,8-cineol, 70,01%) teve efeito fumigante contra *S. zeamais* (CL50 = 78,0 µL/L de ar; 1,8-cineol isolado = 13,64 µL/L de ar).
Insecticidal, fungicidal, phytotoxic activity and chemical composition of *Lavandula dentata* essential oil	Wagner *et al.* (2021)	Biocatalysis and Agricultural Biotechnology DOI: 10.1016/j.bcab.2021.102092	A2	O óleo de *L. dentata* (eucaliptol 34,33%; fenchona 17,78%; cânfora 15,75%) foi fumigante contra *S. zeamais*, com CL50 = 26,9 µL/L de ar (sem alimento) e 42,7 µL/L de ar (com alimento).
Insecticide activity and toxicity of essential oils against two stored-product insects	Zimmermann *et al.* (2021)	Crop Protection DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105575	A2	Somente os óleos de *T. minuta* e *M. arvensis* apresentaram atividade inseticida. O óleo de *M. arvensis* foi o mais tóxico contra *S. zeamais* por contato (CL50 = 67,31 µL/L) e fumigação (CL50 = 47,03 µL/L; TL50 = 8,1 h).
Toxicological stability of *Ocimum basilicum* essential oil and its major components in the control of *Sitophilus zeamais*	Moura *et al.* (2021)	Molecules DOI: 10.3390/molecules26216483	A2	O óleo de *O. basilicum* e seus componentes (linalol e estragol) foram inseticidas por fumigação contra *S. zeamais*; maior estabilidade toxicológica na ausência de luz e a temperaturas ≤ 20 °C.
Efficiency of *Schinus molle* essential oil against *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) and *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Dryophthoridae)	Landero-Valenzuela *et al.* (2022)	Agriculture DOI: 10.3390/agriculture12040554	A2	O óleo de *S. molle* (o-cimeno 29,04%) teve, contra *S. zeamais*, CL50 = 343,25 e CL90 = 986,96 ppm (15º dia); repelência em concentrações acima de 100 ppm (maior índice a 800 ppm).

Título	Autor/Ano	Revista	Qualis	Principais achados
Insecticidal activity of essential oil from seeds of *Foeniculum vulgare* (Apiales: Apiaceae) against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and its effects on crop seed germination	Wanna & Khaengkhan (2023)	Journal of Entomological Science DOI: 10.18474/JES22-13	B2	O óleo de sementes de *F. vulgare* apresentou anetol (43,78%) como componente majoritário, seguido de estragol (28,33%). A CL50 fumigante em 48 h foi 10,42 µL/L de ar, com 100% de mortalidade em 24 h a 64 µL/L e repelência máxima de 75% em 24 h a 16 µL/L.
Insecticidal and repellent activity of native and exotic lemongrass on maize weevil	Radünz *et al.* (2024)	Brazilian Journal of Biology DOI: 10.1590/1519-6984.252990	A4	Os óleos de *C. citratus* e *Elionurus* sp., ricos em α-citral e β-citral, apresentaram mortalidade dependente da dose e do tempo. Exceto na menor dose (0,5 L/t de grãos), a mortalidade superou 90% após 96 h. Ambos foram repelentes em todas as doses e tempos avaliados.
Extratos vegetais (n = 3)				
Evaluation of botanical powders and extracts from Nigerian plants as protectants of maize grains against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) [Coleoptera: Curculionidae]	Ileke *et al.* (2020)	Biocatalysis and Agricultural Biotechnology DOI: 10.1016/j.bcab.2020.101702	A2	O extrato de *A. montanus* foi o mais tóxico (80% de mortalidade em 24 h); o pó de *A. montanus* atingiu 65% em 24 h. *A. montanus*, *A. laxiflora* e *A. nervosa* impediram completamente a oviposição, a emergência de adultos, a perda de peso e o dano aos grãos.
Insecticidal activity of *Tagetes erecta* and *Tagetes patula* extracts and fractions free and microencapsulated	Santos *et al.* (2022)	Biocatalysis and Agricultural Biotechnology DOI: 10.1016/j.bcab.2022.102511	A2	As frações de *T. erecta* (50:50) e *T. patula* (100 mg/mL) atingiram 98,33% de mortalidade em 60 h. A fração hexano/acetato de etila (75:25) de T. patula, a 50 mg/mL levou a mortalidade 100% em 48 h. Nos lipossomas, a mortalidade caiu para 6,67% e 0%, respectivamente.
Insecticidal effect of selected medicinal plants on *Sitophilus zeamais* Mostschulsky in stored maize	Mohammad, Haniffa & Sujarajiini (2023)	Biocatalysis and Agricultural Biotechnology DOI: 10.1016/j.bcab.2023.102635	A2	O extrato metanólico de *A. muricata* causou 100% de mortalidade em 7, 8 e 10 dias nas concentrações de 1.000, 800 e 600 ppm, respectivamente; 600 ppm foi a concentração mínima letal. *O. selloi* apresentou a maior repelência (57,80 ± 21,2%), e *A. altissima* e *E. caryophyllata* atingiram 46,67 ± 17,6%.

Nota: título, autor/ano, revista e achados foram conferidos nos 22 textos completos. O Qualis foi validado na lista Qualis CAPES; NC = não localizada na lista Qualis CAPES. Fonte: Autoria própria (2024).

Os estudos indicaram atividade inseticida dependente da concentração e do tempo de exposição. Entre os resultados expressos em µL/L de ar, destacaram-se as CL50 fumigantes contra *S. zeamais* do citral (2,02 µL/L), do óleo de *F. vulgare* (10,42 µL/L) e do 1,8-cineol isolado de *L. alba* (13,64 µL/L). Abdoul-Latif *et al.* (2020) registraram, em µL/cm³, DL50 de 0,010 ± 0,002 e DL90 de 0,025 ± 0,005 para essa espécie. A comparação direta entre os estudos é limitada pelas diferenças de unidade, tempo de exposição, recipiente, presença de alimento e forma de aplicação.

A repelência também foi recorrente. Os óleos de *C. nepeta* subsp. *glandulosum* atingiram 92,5%; os de *H. mexicanum* e *H. myricariifolium* superaram 70%; e o de *F. vulgare* alcançou 75%. Os extratos de *A. montanus*, *A. laxiflora* e *A. nervosa* também reduziram oviposição, emergência de adultos, perda de peso e danos aos grãos.

A eficácia variou com a formulação e as condições de uso. A presença de arroz reduziu a mortalidade do produto à base de canela para menos de 15%, e a presença de alimento elevou a CL50 do óleo de *L. dentata* de 26,9 para 42,7 µL/L de ar. Em conjunto, os resultados sustentam o potencial dos produtos botânicos, mas a predominância de bioensaios laboratoriais exige validação em condições de armazenamento e aplicação em maior escala.

Pós-Colheita do Milho

O comércio internacional de *commodities* agrícolas é impulsionado pelo aumento da demanda de rações na produção de carne (Usda, 2018). Neste setor, o milho é uma das principais culturas estratégicas para a agricultura brasileira, sendo cultivada na sucessão de soja, consorciada com gramíneas forrageiras em produção lavoura-pecuária e em rotação de culturas. Além disso, apresentam uma ampla exploração no mercado, seja na forma de silagem, grãos, na produção de etanol, no mercado farmacêutico e na alimentação humana (Contini *et al.*, 2019).

Após a colheita e beneficiamento, o milho, seja grãos ou sementes podem ser comercializado ou armazenado. No período de armazenamento as características físicas, químicas e biológicas necessitam ser preservadas para conservação dos nutrientes. Os grãos de milho apresentam peso médio de 250 a 300 mg e constituem cerca de 72% de amido; 9,5% de proteínas; 9% de fibras e 4% de óleo em matéria seca (Paes, 2006). A estocagem pode trazer benefícios consideráveis ao produtor, pois na colheita a oferta é superior à procura, mas ao estocar poderá aguardar que o cenário mude e a comercialização apresente maiores lucros (Araújo *et al.*, 2012). O milho pode ser armazenado em depósitos ou armazéns a granel ou ensacado antes de serem comercializados (Marcolan *et al.*, 2008). Para manter a qualidade dos grãos durante este período a estrutura dos armazéns devem estar adequadas, garantindo a limpeza, a secagem, a aeração e o controle de pragas, principalmente, roedores, pássaros, fungos e insetos (Embrapa, 2004; Santos, 2006).

O armazenamento de sementes de milho exige maiores cuidados e critérios a serem seguidos, sendo armazenadas quando atingem sua maturidade fisiológica no campo, seu ponto de maior qualidade. Nesta etapa, dependendo das condições de manejo pode haver a redução da qualidade fisiológica pelo processo de deterioração. Esse fenômeno envolve diferentes alterações bioquímicas, fisiológicas e físicas, sendo progressivo e determinado por fatores ambientais, genéticos, pelo manejo na colheita, secagem, beneficiamento e também pelas condições de estocagem. São alterações ocorridas durante a deterioração a alteração na composição química, esgotamento das reservas, oxidação de lipídios e diminuição das proteínas, alteração das membranas das células, alterações de nucleotídeos, alterações enzimáticas, redução da integridade e aumento da permeabilidade e desorganização (Villela & Peres, 2004).

O potencial fisiológico das sementes está relacionado a sua capacidade da mesma de realizar funções vitais, como a longevidade, germinação e vigor. Ao reduzir sua qualidade, temos a diminuição da porcentagem de

germinação, aumento de plântulas anormais e redução do vigor das plântulas (Toledo *et al.*, 2009). A utilização de sementes de baixa qualidade contribui para as quedas na produtividade agrícola, reduz a velocidade de emergência das plântulas e aumenta a sensibilidade ao estresse e contribui para a produção desuniforme (Marcos-Filho, 2015). Por isso, torna-se necessário realizar a estocagem de sementes em ambientes controlados.

As condições ambientais no período de armazenamento auxiliam na preservação dos grãos e sementes, em que a temperatura e a umidade do ar são os principais fatores para garantir a sua qualidade fisiológica. Pois, a umidade do ar afeta o teor de água da semente e a temperatura a velocidade dos processos bioquímicos. Esse teor de água de equilíbrio das sementes varia conforme sua composição química, assim, os grãos com maior presença de proteínas e carboidratos serão mais higroscópicos que sementes oleaginosas, que tem maior porcentagem de lipídeos, composto essencialmente hidrofóbico. Neste cenário, os grãos de milho apresentam características higroscópicas, devido a maior presença de amido em sua composição (Paes, 2006; Goldfarb & Queiroga, 2013).

De acordo com Silva *et al.* (2010) em ambiente não controlado as sementes irão acompanhar as variações de umidade relativa do ar do local de armazenamento. Essas oscilações prejudicam a conservação da germinação e o vigor de sementes, principalmente associadas ao aumento da temperatura.

A maior parte dos grãos apresentam características inadequadas para armazenamento, devido ao teor de água durante a colheita, necessitando, de um tratamento nas etapas de pós-colheita, como a secagem, para preservar sua qualidade (Bailey, 1992). Sementes ortodoxas podem ser secadas e armazenadas em baixas temperaturas com teores de umidade entre 5 a 7% (Villela & Peres, 2004).

Os agricultores familiares apresentam maiores dificuldades de armazenamento, devido a ausência de infraestrutura adequada e o baixo controle sanitário, o que aumenta o risco de infestação por pragas e doenças. Muitos deles não consideram as condições ideais de umidade e temperatura durante a estocagem por falta de conhecimento técnico e estrutura, mesmo observando problemas na germinação (Andrade *et al.*, 2012; Araújo *et al.*, 2012; Rodrigues *et al.*, 2018).

Especialmente em pequenas propriedades, é comum o uso de sementes crioulas, que podem ter requisitos específicos de armazenamento. Essas sementes desempenham um papel importante na manutenção da agrobiodiversidade e na conservação dos recursos genéticos, garantindo a autonomia e a segurança alimentar dos agricultores familiares (Araújo *et al.*, 2013). Ademais, o uso de sementes adaptadas às condições locais pode reduzir as perdas agrícolas, especialmente em regiões sujeitas a estresses ambientais.

Na estocagem, a ocorrência de pragas, sobretudo insetos, provoca perdas de grãos, agravadas pela falta de infraestrutura, aeração e controle térmico, podendo exceder as perdas registradas no campo. Estima-se que os insetos de armazenamento causem cerca de 10% de perdas por safra no mundo, cifra que, em países em desenvolvimento, alcança 50%, com reflexos na segurança alimentar, no valor nutritivo, na qualidade e na viabilidade das sementes e no padrão comercial do produto (Cabral, 2011; Goñi *et al.*, 2017; Rosa *et al.*, 2020).

Pragas de Grãos Armazenados

Os principais insetos-pragas de armazenamento de grãos são das ordens Coleoptera, como os gorgulhos do milho, e da ordem Lepidoptera, como as mariposas. Entre eles, os coleópteros são mais resistentes e

movimentam-se entre os grãos, principalmente em profundidades maiores, enquanto os lepidópteros permanecem na superfície da massa de grãos, causando menos danos (Faroni & Sousa, 2006). No gênero *Sitophilus* spp., três espécies se destacam como pragas de produtos armazenados, incluindo o gorgulho do milho, *S. zeamais*. Esta espécie é uma das pragas primárias mais importantes do milho armazenado, causando perdas quantitativas e qualitativas devido à postura de ovos dentro dos grãos (Gallo *et al.*, 2002).

Esses insetos-praga podem ser classificados de acordo com seu hábito alimentar, o que constitui uma característica crucial para o controle de infestações em armazéns. São divididas em primárias e secundárias, com base nesse comportamento. As primárias atacam grãos inteiros e saudáveis, dividindo-se em internas e externas, enquanto as secundárias atacam sementes danificadas (Lorini *et al.*, 2010).

Os adultos do *S. zeamais* têm entre 2,0 e 5 mm de comprimento, coloração castanho-escuro e rostro curvado, sendo capazes de perfurar grãos com suas mandíbulas fortes. O ciclo de vida inclui oviposição de até 104 dias, com uma média de 282 ovos por fêmea, e a emergência de adultos ocorrendo em até 34 dias (Botton *et al.*, 2005). Os ovos são depositados pela fêmea adulta em pequenas cavidades perfuradas nos grãos. Após a postura, essas cavidades são vedadas pela fêmea com uma substância mucilaginosa secretada por ela. Com o tempo, essa substância se solidifica, formando uma pequena protuberância na superfície do grão, o que indica que o mesmo está infestado (Devi *et al.*, 2017). O período médio de incubação dos ovos é de 6 a 9 dias a uma temperatura de 25 °C. As larvas penetram nos grãos, onde se alimentam e passam por quatro instares larvais. Em seguida, ocorre a transformação em pupas dentro do grão, onde permanecem até completarem o desenvolvimento e emergirem como adultos (Kumari *et al.*, 2022).

O uso de produtos sintéticos mostra alta eficácia no controle das populações do *S. zeamais*. No entanto, apesar da eficácia dessas substâncias, a aplicação contínua e o uso exacerbado têm contaminado o meio ambiente e intoxicando seres humanos e animais. Nesse cenário, na busca por práticas agrícolas mais sustentáveis, tem aumentado o interesse da busca por métodos de controle menos agressivos que atuem semelhante aos inseticidas e mantenha a qualidade do alimento, como a busca por bioinseticidas botânicos (Figueiredo, Rocha & Freitas, 2018; Nayak *et al.*, 2020; Achimón *et al.*, 2022).

O emprego de inseticidas botânicos também favorece a transição do modelo agroquímico para uma agricultura de base ecológica, prática já consolidada entre agricultores tradicionais de subsistência, sobretudo em países em desenvolvimento (Dougoud *et al.*, 2019; Leite & Bertotti, 2020; Iqbal *et al.*, 2022). Nesse grupo, os óleos essenciais sobressaem como bioinseticidas contra *S. zeamais*, com resultados promissores em diferentes mecanismos de ação (Achimón *et al.*, 2022).

Óleo Essencial e Extratos Vegetais

A maior parte das plantas sintetiza e armazena metabólitos secundários em folhas, flores, raízes e outras estruturas. Esses compostos cumprem funções variadas: atuam como defesa química contra herbívoros e insetos sugadores, protegem contra patógenos, radiação ultravioleta e perda excessiva de água e, ainda, atraem polinizadores (Hoffmann, 2020).

O sistema de defesa das plantas contra insetos se divide em dois mecanismos principais: defesa direta e

defesa indireta. Na defesa direta, a planta produz compostos que afetam diretamente o desempenho do inseto. Na defesa indireta, a planta emite substâncias que atraem parasitas e predadores naturais do inseto, promovendo seu controle biológico (Spletozer *et al.*, 2021). Devido à eficácia natural dos compostos presentes em plantas para sua autodefesa contra pragas, pesquisas botânicas têm explorado extratos vegetais e óleos essenciais de plantas aromáticas como alternativas promissoras para o controle de pragas.

Os óleos essenciais integram o grupo dos metabólitos secundários e devem seu nome à fragrância característica que exalam. Consistem em misturas de compostos voláteis, fenóis, fenilpropanos, terpenos e sesquiterpenos, obtidas, em sua maioria, por destilação de diferentes partes da planta. Alguns são extraídos por prensagem mecânica dos tecidos; outros requerem solventes, como hexano ou dióxido de carbono supercrítico (Santana *et al.*, 2018; Hoffmann, 2020).

Os componentes dos extratos vegetais consistem principalmente em metabólitos secundários da planta, semelhantes aos encontrados nos óleos essenciais. A principal diferenciação entre os dois produtos se dá pela forma de obtenção. O termo "extrato" é utilizado para se referir a algo retirado de uma matéria-prima durante um processo químico de extração com solventes, que podem incluir água, álcool, acetato de etila e acetona. Nos extratos vegetais, as próprias plantas são as matérias-primas. O processo de extração das plantas com os solventes ocorre por meio de diversos procedimentos, sendo os principais a maceração, a percolação e a turbólise, técnicas nas quais a planta entra em contato estático ou dinâmico com o solvente (Marques, 2005).

Atividade Inseticida de Óleos Essenciais e Extratos Vegetais

Como inseticidas, óleos essenciais e extratos vegetais podem ser aplicados isoladamente ou em combinação, situação em que emergem efeitos de sinergismo ou antagonismo. No sinergismo, a mistura potencializa a ação individual dos componentes; no antagonismo, um agente atenua a atividade do outro (Reddy & Chowdary, 2021). Essa interação deve ser considerada no desenvolvimento de bioinseticidas formulados a partir desses produtos.

Óleos essenciais das famílias Asteraceae, Apiaceae, Lamiaceae, Myrtaceae, Piperaceae e Rutaceae reúnem elevado potencial bioinseticida contra *S. zeamais* (Achimón *et al.*, 2022). Os mesmos autores relacionam, como espécies de boa atividade sobre a praga, *Carum carvi, Salvia umbratica, Ilicium difengpi, Periploca sepium, Cephalotaxus sinensis, Murraya exotica, Rhododendron anthopogonoides, Ruta graveolens, Eucalyptus viminalis , Ocotea odorifera , Eucalyptus globulus, Eucalyptus dunnii, Anethum graveolens, Ilicium verum, Cryptocarya alba, Azadirachta indica, Chenopodium ambrosioides, Cupressus semperivens, Schinus molle, Piper hispidinervum, Mentha longifolia e Croton pulegiodorus* apresentam boa propriedade inseticida contra *S. zeamais*.

Foram selecionadas as pesquisas que apresentaram resultados promissores de toxicidade contra *S. zeamais*, com 19 investigações que avaliaram a atividade inseticida de óleos essenciais e 3 estudos com extratos vegetais, todos no período de 2019 a 2024. Os artigos referentes aos óleos essenciais avaliaram a ação por contato, fumigação e/ou repelência. E os extratos vegetais foram estudados ação por contato, repelência e aplicação tópica (Quadro 5).

Quadro 5 – Óleos essenciais ou extratos de espécies vegetais estudadas para controle da infestação de *S. zeamais*

Espécies Botânicas	Meio de propagação	Referências
Óleos essenciais		
Anethum graveolens L.	Fumigação e contato	(Rosa *et al.*, 2020)
Croton rudolphianus Leaves	Fumigação e contato	(Ribeiro *et al.*, 2020)
Plectranthus amboinicu (Lour.)	Fumigação e contato	(Wanna & Krasaetep, 2019)
Jatropha curcas L.	Fumigação	(Babarinde *et al.*, 2019)
Pimenta racemosa var. ozua (Mill.)	Fumigação	(Brito *et al.*, 2021)
Clinopodium nepeta subsp.	Repelência	(Debbabi *et al.*, 2020)
Lippia citriodora (Lam.) Kunth	Fumigação	(Abdoul-latif *et al.*, 2020)
Mosla chinensis Maxim	Fumigação	(Lu *et al.*, 2020)
Cinnamomum Cássia Bark	Fumigação e contato	(Yang, Isman & Tak, 2020)
Citrus sinensis Peel	Fumigação e contato	(Oyedeji *et al.*, 2020)
Ocimum basilicum L.	Contato	(Moura *et al.*, 2020)
Rosmarinus officinalis L.	Fumigação	(Brito *et al.*, 2021)
Hypericum mexicanum L.	Fumigação, contato e repelência	(Patiño-Bayona *et al.*, 2021)
Origanum majorana L.	Contato	(Yang, Isman & Tak, 2020)
Lippia alba Leaves	Fumigação	(Lima *et al.*, 2021)
Lavandula dentata L.	Fumigação	(Wagner *et al.*, 2021)
Tagetes minuta L.	Fumigação	(Zimmermann *et al.*, 2021)
Mentha arvensis L.	Fumigação	(Zimmermann *et al.*, 2021)
Ocimum basilicum L.	Fumigação	(Moura *et al.*, 2021)
Pimenta haitiensis (Urb.)	Fumigação	(Brito *et al.*, 2021)
Schinus molle L.	Contato e repelência	(Landero-Valenzuela *et al.*, 2022)
Melaleuca alternifólia Cheel	Contato	(Yang, Isman & Tak, 2020)
Citrus sinensis (L.) Osbeck	Fumigação	(Brito *et al.*, 2021)
Foeniculum vulgare Miller	Fumigação e repelência	(Wanna & Khaengkhan, 2023)
Cymbopogon citratus (DC.) Stapf	Contato e repelência	(Radünz *et al.*, 2024)
Elionurus sp.	Contato e repelência	(Radünz *et al.*, 2024)
Extratos vegetais		
Acanthus montanus (Nees)	Contato	(Ileke *et al.*, 2020)

Espécies Botânicas	Meio de propagação	Referências
Acanthospermum hispidum DC.	Contato	(Ileke *et al.*, 2020)
Alchornea laxiflora (Benth.)	Contato	(Ileke *et al.*, 2020)
Argyreia nervosa (Burm. f.)	Contato	(Ileke *et al.*, 2020)
Anethum graveolens L.	Repelência e contato	(Albiero, Freiberger & Vanin, 2020)
Azadirachta indica A. juss.	Repelência e contato	(Albiero, Freiberger & Vanin, 2020)
Tagetes erecta L.	Aplicação tópica	(Santos *et al.*, 2022)
Tagetes patula L.	Aplicação tópica	(Santos *et al.*, 2022)
Annona muricata L.	Contato	(Mohammad, Haniffa & Sujarajiini, 2023)
Ocimum selloi Benth.	Repelência	(Mohammad, Haniffa & Sujarajiini, 2023)
Ailanthus altissima M.	Repelência	(Mohammad, Haniffa & Sujarajiini, 2023)
Eugenia caryophyllata Thunb. *(*nome aceito*: Syzygium aromaticum (*L.) Merr. & L.M. Perry*)*	Repelência	(Mohammad, Haniffa & Sujarajiini, 2023)

Fonte: Autoria própria (2024).

A análise dos bioensaios revelou predominância dos ensaios de fumigação, empregados em 78,95% dos estudos, de forma isolada ou associada a outras modalidades. Os testes por contato ocuparam a segunda posição, presentes em 47,37% dos trabalhos. Tal distribuição confirma a fumigação como abordagem preferencial na investigação do controle de pragas em grãos armazenados. Conforme relatado por Wanna & Kaewduangta (2022), a fumigação é considerada um método de alta eficácia para o manejo de pragas em produtos estocados. Sua característica de alta volatilidade possibilita a difusão dos gases por todo o espaço aéreo de armazéns e silos, alcançando áreas que outros métodos não conseguem atingir com facilidade.

Nos estudos selecionados, foram analisados extratos vegetais de diferentes espécies pertencentes a várias famílias botânicas, destacando-se Acanthaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Convolvulaceae, Apiaceae, Meliaceae, Annonaceae, Lamiaceae, Simaroubaceae e Myrtaceae. Os principais mecanismos de ação observados foram contato e repelência. Segundo Albiero, Freiberger & Vanin (2020), as famílias Meliaceae e Apiaceae destacaram-se nos estudos de controle de *S. zeamais* pela eficácia de seus extratos vegetais com atividades inseticidas e/ou repelentes. Apresentando propriedades que inibem a alimentação e bloqueiam do desenvolvimento dos insetos.

Porém, apenas 3 estudos trazem testes com extratos vegetais, esse baixo número impede comparações robustas e limita a análise dos resultados relativos as atividades inseticidas dos extratos no controle do gorgulho. Além disso, os métodos de extração e os solventes empregados podem modificar a composição química dos produtos obtidos e sua toxicidade. A ausência de avaliações padronizadas sobre persistência, segurança e formas de aplicação em grãos armazenados também dificulta a determinação da eficácia e da viabilidade prática dos extratos vegetais.

Apesar do potencial inseticida demonstrado nos estudos avaliados, a análise dos 22 artigos mostrou limitações metodológicas que restringem a generalização dos resultados. Alguma dessas limitações é a predominância de ensaios laboratoriais que dificulta a análise da eficácia dos tratamentos para silos e armazéns, nos quais a presença dos grãos pode influenciar a atividade inseticida. Corroborando com Campolo *et al.* (2018), que constataram que quase todos os ensaios com óleos essenciais destinados ao controle de pragas de produtos armazenados foram realizados em laboratório, sem experimentação em condições reais de operação, recomendando o foco em formulações aplicáveis à realidade da agroindústria.

As diferenças entre concentrações, tempos de exposição e unidades de medida também comprometem a comparação direta entre os estudos. Embora as pesquisas se concentrem em poucos gêneros vegetais, muitas espécies foram avaliadas apenas uma vez, sem repetição delas entre os estudos que confirmasse os resultados. Predominaram, ainda, avaliações da mortalidade de insetos adultos, enquanto efeitos sobre oviposição, emergência, danos aos grãos e germinação receberam menor atenção.

Guarino *et al.* (2025) apontaram a dificuldade de padronização como um dos principais obstáculos ao uso dos óleos essenciais, reforçando a necessidade de caracterização química, formulações estáveis e protocolos experimentais uniformes para a obtenção de resultados comparáveis e reproduzíveis. Essas limitações reduzem a comparabilidade e a reprodutibilidade dos resultados e dificultam a avaliação da viabilidade prática desses produtos no controle de *S. zeamais*.

Porém no ponto de vista ambiental, a diversidade de espécies vegetais investigadas quanto ao seu potencial inseticida é importante na prospecção e pesquisa contínua para identificar novas alternativas no controle de *S. zeamais*. Entre os óleos essenciais avaliados, observou-se que os gêneros *Citrus* e *Lippia* foram estudados em mais de um artigo. Essa repetição sugere que este gênero possui compostos químicos promissores que justificam investigações mais aprofundadas. A exploração contínua desses gêneros pode fornecer dados mais robustos e contribuir para o desenvolvimento de alternativas naturais.

Autores como Kim & Lee (2014), Fouad & Camara (2017), Brito *et al.* (2021) e Oyedeji *et al.* (2020) alcançaram resultados promissores ao analisar a atividade inseticida de *Citrus* contra *S. zeamais*. Todas as espécies apresentando o limoneno como composto majoritário, sendo o *Citrus aurantium* (96,50%), *Citrus sinensis* (96,14%), *Citrus reticulata* (80,20%), *Citrus sinensis* (59,30%) e *Citrus Aurantiifolia* (38,90%), respectivamente.

O limoneno também pode ser encontrado em espécies do gênero *Lippia*, como na *Lippia alba, Lippia citriodora* e *Lippia javanica,* indicando possível influência na atividade inseticida contra *S. zeamais* (Kamanula *et al.*, 2017; Abdoul-latif *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2021). Além destes, outros autores como Oliveira *et al.* (2018) também apresentou bons resultados na mortalidade de adultos da espécie com *Lippia sidoides.*

Embora os resultados apresentados indiquem uma possível contribuição do limoneno para a atividade inseticida das espécies de *Lippia*, a ação dos óleos essenciais estudados não é atribuída exclusivamente a esse composto. Isto, porque os demais compostos, mesmo que em menores proporções podem estabelecer interações sinérgicas, aditivas ou antagônicas que posam modificar a toxicidade da mistura. Evidências experimentais obtidas com *S. zeamais* demonstram que determinadas combinações de compostos voláteis apresentam maior atividade inseticida do que seus constituintes avaliados separadamente (Galeano, Prieto-Rodríguez & Patiño-Ladino, 2025).

A comparação entre os estudos também é limitada pelas diferenças químicas entre espécies, variedades e quimiotipos. O rendimento e a composição dos óleos podem variar em função do genótipo, das condições edafoclimáticas, da origem geográfica, do estádio de desenvolvimento, da época de colheita e do método de extração (Figueiredo *et al.*, 2008). Em *Lippia javanica*, foram identificados quimiotipos com diferentes compostos majoritários e atividades contra *S. zeamais*, além de variações sazonais no rendimento e na composição do óleo (Kamanula *et al.*, 2017). Diante dessa variabilidade, a padronização química é necessária para garantir resultados comparáveis e reproduzíveis (Guarino *et al.*, 2025), sendo apontado por Paripoorani *et al.* (2025) como o maior limitante da utilização dos óleos essenciais.

Os resultados obtidos evidenciam que tanto os óleos essenciais quanto os extratos vegetais apresentam potencial no controle de *S. zeamais*, destacando-se como alternativas sustentáveis aos inseticidas químicos. Contudo, a lacunas que restringem investigar sua viabilidade econômica e ambiental em larga escala. A ausência de padronização metodológica, com variações de concentração, tempo de exposição, unidades de medida e forma de aplicação, impede a comparação direta entre os trabalhos e a definição de doses de referência. A maioria dos ensaios foi conduzida em laboratório, e poucos experimentos reproduziram condições reais de armazenamento, nas quais a massa de grãos altera a difusão dos voláteis e reduz a eficácia observada.

A alta volatilidade dos óleos essenciais favorece a ação fumigante, porém compromete a aplicação, estabilidade e persistência do efeito ao longo do período de estocagem. Além disso, questões relacionadas à disponibilidade da matéria-prima, à padronização química, à segurança toxicológica e ao custo de produção ainda limitam sua utilização em larga escala. A nanoencapsulação e a nanoemulsão podem aumentar a estabilidade e otimizar o desempenho dos compostos bioativos. Contudo, a consolidação desses produtos como inseticidas botânicos depende de estudos em silos e armazéns que avaliem sua eficácia, segurança, viabilidade econômica e efeitos sobre a qualidade tecnológica e a germinação dos grãos (Chaudhari *et al.*, 2021)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os óleos essenciais e extratos vegetais demonstraram ser alternativas eficazes e sustentáveis para o controle de *S. zeamais*, com propriedades inseticidas e repelentes promissoras em uma ampla diversidade de espécies. Contudo, sua aplicação prática depende da validação em silos e armazéns, da avaliação dos efeitos subletais e sobre a germinação dos grãos e do desenvolvimento de formulações, como nanoencapsulações e nanoemulsões, que ampliem a estabilidade e a persistência desses bioinseticidas.

Conflitos de interesses

Nós, autores do manuscrito supracitado, declaramos que não há conflitos de interesse relacionados à pesquisa, autoria ou publicação deste trabalho. Declaramos ainda que o estudo foi conduzido de maneira independente, com imparcialidade e rigor científico, sem interferências externas que possam comprometer a integridade dos resultados. Assim, asseguramos a transparência e a ética em todas as etapas do desenvolvimento da pesquisa.

Contribuições dos autores

Todos os autores participaram de maneira colaborativa e proporcional em todas as etapas de elaboração do manuscrito, desde a concepção do estudo até sua versão final. As contribuições envolveram a formulação da questão de pesquisa, planejamento metodológico, obtenção e interpretação dos dados, além da redação, revisão crítica e aprovação do artigo. Dessa forma, todos os autores assumem responsabilidade conjunta pelo conteúdo científico apresentado.

REFERÊNCIAS

Abdoul-Latif, F. M., Ainane, A., Abdoul-Latif, T. M., & Ainane, T. (2020). Chemical study and evaluation of insectical properties of African Lippia citriodora essential oil. *Journal of Biopesticides*, *13*(2), 119–126. https://doi.org/10.57182/jbiopestic.13.2.119-126

Abdullahi, N., & Dandago, M. A. (2021). Postharvest losses in food grains: A review. *Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences*, *3*(2), 25–36. https://doi.org/10.53663/turjfas.958473

Acheampong, A., Ayertey, J. N., Eziah, V. Y., & Ifie, B. E. (2019). Susceptibility of selected maize seed genotypes to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, *81*, 62–68. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.01.003

Achimón, F., Peschiutta, M. L., Brito, V. D., Beato, M., Pizzolitto, R. P., Zygadlo, J. A., & Zunino, M. P. (2022). Exploring contact toxicity of essential oils against *Sitophilus zeamais* through a meta-analysis approach. *Plants*, *11*(22), 3070. https://doi.org/10.3390/plants11223070

Albiero, B., Freiberger, G., & Vanin, A. B. (2020). Atividade inseticida e repelente de extrato e pó de sementes de *Anethum graveolens* e *Azadirachta indica* frente ao *Sitophilus zeamais*. *Scientia Plena*, *16*(4), 047203. https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.047203

Andrade, E. M. G., Lacerda, R. R. de A., Sousa Júnior, J. R., Silva, H. S., Sousa, J. R. M. de, Furtado, G. F., & Silva, S. S. da. (2012). Diagnóstico do armazenamento de sementes em pequenas propriedades do município de Umari–CE. *Agropecuária Científica no Semiárido*, *8*(4), 29–36.

Araújo, S. L., Morais, R. C., Morais, R., Nunes, F. R., Costa, C., & Santos, A. da S. dos. (2013). Guardiões e guardiãs da agrobiodiversidade nas regiões do Cariri, Curimataú e Seridó Paraibano. *Cadernos de Agroecologia*, *8*(2). https://revista.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/14455

Araújo, W. L. de, Sousa Júnior, J. R., Sousa, J. R. M. de, Aleixo, D. de L., & Lopes, K. P. (2012). Diagnóstico de armazenamento de sementes em pequenas propriedades do município de Pombal–PB. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, *7*(3), 169–175. https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2887

Babarinde, G. O., Babarinde, S. A., Ojediran, T. K., Odewole, A. F., Odetunde, D. A., & Bamido, T. S. (2019). Chemical composition and toxicity of *Jatropha curcas* seed oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky as affected by pre-extraction treatment of seeds. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *21*, 101333. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101333

Bailey, J. E. (1992). Whole grain storage. In D. B. Sauer (Ed.), *Storage of cereal grains and their products* (4th ed., pp. 157–182). American Association of Cereal Chemists.

Bawa, S. A., Ofori, E. S., Osae, M., Avicor, S. W., & Owusu, E. O. (2022). Susceptibility of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) to selected stored product insecticides in the Central region of Ghana. *Journal of Agriculture and Food Research*, *9*, 100335. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100335

Botton, M., Lorini, I., Loeck, A. E., & Afonso, A. P. S. (2005). *O gorgulho do milho Sitophilus zeamais (Coleoptera: Curculionidae) como praga em frutíferas de clima temperado* (Circular Técnica 58). Embrapa Uva e Vinho. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/541429

Brito, V. D., Achimón, F., Pizzolitto, R. P., Ramírez Sánchez, A., Gómez Torres, E. A., Zygadlo, J. A., & Zunino, M. P. (2021). An alternative to reduce the use of the synthetic insecticide against the maize weevil *Sitophilus zeamais* through the synergistic action of *Pimenta racemosa* and *Citrus sinensis* essential oils with chlorpyrifos. *Journal of Pest Science*, *94*(2), 409–421. https://doi.org/10.1007/s10340-020-01264-0

Cabral, D. (2011). *Eficácia de Piper nigrum e Chenopodium ambrosioides no controle do inseto-praga de grãos armazenados Sitophilus zeamais* [Monografia de graduação, Universidade de Brasília]. Biblioteca Digital da Produção Intelectual Discente. https://bdm.unb.br/handle/10483/3056

Campolo, O., Giunti, G., Russo, A., Palmeri, V., & Zappalà, L. (2018). Essential oils in stored product insect pest control. *Journal of Food Quality*, *2018*, 6906105. https://doi.org/10.1155/2018/6906105

Cano, M. C., Beato, M., Zunino, M. P., & Usseglio, V. (2024). Bioactive paints with volatile organic alcohols for the control of *Sitophilus zeamais*. *Journal of Stored Products Research*, *109*, 102423. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102423

Chaudhari, A. K., Singh, V. K., Kedia, A., Das, S., & Dubey, N. K. (2021). Essential oils and their bioactive compounds as eco-friendly novel green pesticides for management of storage insect pests: Prospects and retrospects. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*, 18918–18940. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12841-w

Contini, E., Mota, M. M., Marra, R., Borghi, E., Miranda, R. A. de, Silva, A. F. da, Silva, D. D. da, Machado, J. R. de A., Cota, L. V., Costa, R. V. da, & Mendes, S. M. (2019). *Milho: Caracterização e desafios tecnológicos*. Embrapa. https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho-caracterizacao.pdf

Debbabi, H., El Mokni, R., Chaieb, I., Nardoni, S., Maggi, F., Caprioli, G., & Hammami, S. (2020). Chemical composition, antifungal and insecticidal activities of the essential oils from Tunisian *Clinopodium nepeta* subsp. nepeta and *Clinopodium nepeta* subsp. glandulosum. *Molecules*, *25*(9), 2137. https://doi.org/10.3390/molecules25092137

De Groote, H., Kimenju, S. C., Likhayo, P., Kanampiu, F., Tefera, T., & Hellin, J. (2013). Effectiveness of hermetic systems in controlling maize storage pests in Kenya. *Journal of Stored Products Research*, *53*, 27–36. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2013.01.001

Devi, S. R., Thomas, A., Rebijith, K. B., & Ramamurthy, V. V. (2017). Biology, morphology and molecular characterization of *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, *73*, 135–141. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.08.004

Dougoud, J., Toepfer, S., Bateman, M., & Jenner, W. H. (2019). Efficacy of homemade botanical insecticides based on traditional knowledge: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *39*, Article 37. https://doi.org/10.1007/s13593-019-0583-1

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2004). *Manual de segurança e qualidade para a cultura do milho*. Embrapa Informação Tecnológica. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/111875

Faroni, L. R. A., & Sousa, A. H. de. (2006). *Aspectos biológicos e taxonômicos dos principais insetos-praga de produtos armazenados*. In F. de A. C. Almeida, M. E. M. Duarte, & M. E. R. M. C. Mata (Eds.), Tecnologia de armazenagem em sementes (pp. 371–402). UFCG.

Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., & Scheffer, J. J. C. (2008). Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, *23*(4), 213–226. https://doi.org/10.1002/ffj.1875

Figueiredo, R. C., Rocha, W. C., & Freitas, A. D. G. de. (2018). Efeito inseticida do óleo essencial e extratos etanólicos das folhas de mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.) sobre o gorgulho do milho (*Sitophilus zeamais* Mots.). *Ensaios e Ciência*, *22*(2), 80–84. https://doi.org/10.17921/1415-6938.2018v22n2p80-84

Fouad, H. A., & da Camara, C. A. G. (2017). Chemical composition and bioactivity of peel oils from *Citrus aurantiifolia* and *Citrus reticulata* and enantiomers of their major constituent against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, *73*, 30–36. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.06.001

Galeano, L. J. N., Prieto-Rodríguez, J. A., & Patiño-Ladino, O. J. (2025). Synergistic insecticidal activity of plant volatile compounds: Impact on neurotransmission and detoxification enzymes in *Sitophilus zeamais*. *Insects*, *16*(6), 609. https://doi.org/10.3390/insects16060609

Gallo, D., Nakano, O., Silveira Neto, S., Carvalho, R. P. L., Baptista, G. C. de, Berti Filho, E., Parra, J. R. P., Zucchi, R. A., Alves, S. B., Vendramim, J. D., Marchini, L. C., Lopes, J. R. S., & Omoto, C. (2002). *Entomologia agrícola*. FEALQ.

Goldfarb, M., & Queiroga, V. de P. (2013). Considerações sobre o armazenamento de sementes. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, *7*(3), 71–74. https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/982507/1/sementes.pdf

Goñi, M. L., Gañán, N. A., Herrera, J. M., Strumia, M. C., Andreatta, A. E., & Martini, R. E. (2017). Supercritical CO2 impregnation of LDPE films with terpene ketones as biopesticides against corn weevil (*Sitophilus zeamais*). *The Journal of Supercritical Fluids*, *122*, 18–26. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.11.017

Guarino, S., Abbate, L., Arif, M. A., & Peri, E. (2025). Insecticidal activity of single essential oil constituents against two stored-products insect pests. *International Journal of Tropical Insect Science*, *45*(1), 185–191. https://doi.org/10.1007/s42690-024-01417-z

Hoffmann, K. H. (2020). Essential oils. *Zeitschrift für Naturforschung C*, *75*(7–8), 177. https://doi.org/10.1515/znc-2020-0124

Ileke, K. D., Idoko, J. E., Ojo, D. O., & Adesina, B. C. (2020). Evaluation of botanical powders and extracts from Nigerian plants as protectants of maize grains against maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) [Coleoptera: Curculionidae]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *27*, 101702. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101702

Iqbal, T., Ahmed, N., Shahjeer, K., Ahmed, S., Al-Mutairi, K. A., Khater, H. F., & Ali, R. F. (2022). Botanical insecticides and their potential as anti-insect/pests: Are they successful against insects and pests? In *Global decline of insects*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.100418

Isman, M. B. (2006). Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology*, *51*, 45–66. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146

Kamanula, J. F., Belmain, S. R., Hall, D. R., Farman, D. I., Goyder, D. J., Mvumi, B. M., Masumbu, F. F., & Stevenson, P. C. (2017). Chemical variation and insecticidal activity of *Lippia javanica* (Burm. f.) Spreng essential oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Industrial Crops and Products*, *110*, 75–82. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.036

Kim, S.-I., & Lee, D.-W. (2014). Toxicity of basil and orange essential oils and their components against two coleopteran stored products insect pests. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *17*(1), 13–17. https://doi.org/10.1016/j.aspen.2013.09.002

Kumari, N., Kumar, V., Kumar, A., Kumar, A., Sati, K., Prakash, O., & Kapoor, N. (2022). Biology of *Sitophilus zeamais* Motsch. on maize grains under laboratory condition. *The Pharma Innovation Journal*, *11*(9), 1388–1391. https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue9/PartQ/11-9-174-682.pdf

Landero-Valenzuela, N., Alonso-Hernández, N., Lara-Viveros, F., Gómez-Domínguez, N. S., Juárez-Pelcastre, J., Aguado-Rodríguez, J., Luna-Cruz, A., Lagunez-Rivera, L., Aguilar-Pérez, L. A., Hinojosa-Garro, D., & Granados-

Echegoyen, C. (2022). Efficiency of *Schinus molle* essential oil against *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Triozidae) and *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Dryophthoridae). *Agriculture*, *12*(4), 554. https://doi.org/10.3390/agriculture12040554

Leite, T. V. P., & Bertotti, D. L. (2020). Efeito dos inseticidas botânicos aplicados no manejo agroecológico de pragas na cultura do milho doce. *Revista Brasiliense de Agroambiente e Desenvolvimento Sustentável*, *1*(1), 15–20. https://revistas.icesp.br/index.php/rebas/article/view/1069

Lima, T. de A., Baptista, N. M. de Q., Oliveira, A. P. S. de, Silva, P. A. da, Gusmão, N. B. de, Correia, M. T. dos S., Napoleão, T. H., Silva, M. V. da, & Paiva, P. M. G. (2021). Insecticidal activity of a chemotype VI essential oil from *Lippia alba* leaves collected at Caatinga and the major compound (1,8-cineole) against *Nasutitermes corniger* and *Sitophilus zeamais*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *177*, 104901. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104901

López-Castillo, L. M., Silva-Fernández, S. E., Winkler, R., Bergvinson, D. J., Arnason, J. T., & García-Lara, S. (2018). Postharvest insect resistance in maize. *Journal of Stored Products Research*, *77*, 66–76. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.03.004

Lorini, I., Krzyzanowski, F. C., França-Neto, J. de B., & Henning, A. A. (2010). *Principais pragas e métodos de controle em sementes durante o armazenamento* (Circular Técnica 73). Embrapa Soja. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/888419

Lu, X., Weng, H., Li, C., He, J., Zhang, X., & Ma, Z. (2020). Efficacy of essential oil from *Mosla chinensis* Maxim. cv. Jiangxiangru and its three main components against insect pests. *Industrial Crops and Products*, *147*, 112237. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112237

Marcolan, A. L., Ramalho, A. R., Teixeira, C. A. D., Fernandes, C. de F., Ramos, J. E. de L., Costa, J. N. M., Vieira Júnior, J. R., Oliveira, S. J. de M., & Godinho, V. de P. C. (2008). *Sistema de produção para a cultura do milho em Rondônia* (3rd ed.; Sistemas de Produção 32). Embrapa Rondônia. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/709720/1/sp32milho.pdf

Marcos-Filho, J. (2015). Seed vigor testing: An overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola*, *72*(4), 363–374. https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007

Marques, L. C. (2005). Preparação de extratos vegetais. *Jornal Brasileiro de Fitomedicina, 3*(2), 74–76.

Mohammad, M. Y., Haniffa, H. M., Shakya, A. K., Naik, R. R., & Sivaranjan, T. (2024). Evaluation of five medicinal plants for the management of *Sitophilus oryzae* in stored rice and identification of insecticidal compound. *Heliyon*, *10*(10), e30793. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30793

Mohammad, M. Y., Haniffa, H. M., & Sujarajiini, V. (2023). Insecticidal effect of selected medicinal plants on *Sitophilus zeamais* Mostschulsky in stored maize. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *48*, 102635. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102635

Moura, E. da S., Faroni, L. R. D., Heleno, F. F., & Rodrigues, A. A. Z. (2021). Toxicological stability of *Ocimum basilicum* essential oil and its major components in the control of *Sitophilus zeamais*. *Molecules*, *26*(21), 6483. https://doi.org/10.3390/molecules26216483

Moura, E. da S., Faroni, L. R. D., Heleno, F. F., Rodrigues, A. A. Z., Prates, L. H. F., & Queiroz, M. E. L. R. de. (2020). Optimal extraction of *Ocimum basilicum* essential oil by association of ultrasound and hydrodistillation and its potential as a biopesticide against a major stored grains pest. *Molecules*, *25*(12), 2781. https://doi.org/10.3390/molecules25122781

Mssillou, I., Agour, A., Allali, A., Saghrouchni, H., Bourhia, M., El Moussaoui, A., Salamatullah, A. M., Alzahrani, A., Aboul-Soud, M. A. M., Giesy, J. P., Lyoussi, B., & Derwich, E. (2022). Antioxidant, antimicrobial, and insecticidal properties of a chemically characterized essential oil from the leaves of *Dittrichia viscosa* L. *Molecules*, *27*(7), 2282. https://doi.org/10.3390/molecules27072282

Nayak, M. K., Daglish, G. J., Phillips, T. W., & Ebert, P. R. (2020). Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: A global perspective. *Annual Review of Entomology*, *65*, 333–350. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025047

Oliveira, A. P., Santos, A. A., Santana, A. S., Lima, A. P. S., Melo, C. R., Santana, E. D. R., Sampaio, T. S., Blank, A. F., Araújo, A. P. A., Cristaldo, P. F., & Bacci, L. (2018). Essential oil of *Lippia sidoides* and its major compound thymol: Toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Crop Protection*, *112*, 33–38. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.05.011

Oyedeji, A. O., Okunowo, W. O., Osuntoki, A. A., Olabode, T. B., & Ayo-Folorunso, F. (2020). Insecticidal and biochemical activity of essential oil from *Citrus sinensis* peel and constituents on *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *168*, 104643. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104643

Paes, M. C. D. (2006). *Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho* (Circular Técnica 75). Embrapa Milho e Sorgo. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/489376

Paripoorani, S., Shanthi, M., Murugan, M., Senthil, N., Haripriya, S., Jayakanthan, M., & Vijayakumari, N. (2025). Harnessing the neurotoxic potential of essential oils as biopesticides against stored product pests. *Plant Science Today*, *12*(sp1), 1–6. https://doi.org/10.14719/pst.8839

Patiño-Bayona, W. R., Plazas, E., Bustos-Cortes, J. J., Prieto-Rodríguez, J. A., & Patiño-Ladino, O. J. (2021). Essential oils of three Hypericum species from Colombia: Chemical composition, insecticidal and repellent activity against *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). *Records of Natural Products*, *15*(2), 111–121. https://doi.org/10.25135/rnp.192.20.05.1665

Radünz, A. L., Radünz, M., Bizollo, A. R., Tramontin, M. A., Radünz, L. L., Mariot, M. P., Tempel-Stumpf, E. R., Calisto, J. F. F., Zaniol, F., Albeny-Simões, D., Rezende, R. S., & Dal Magro, J. (2024). Insecticidal and repellent activity of native and exotic lemongrass on maize weevil. *Brazilian Journal of Biology*, *84*, e252990. https://doi.org/10.1590/1519-6984.252990

Reddy, D. S., & Chowdary, N. M. (2021). Botanical biopesticide combination concept: A viable option for pest management in organic farming. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, *31*, Article 23. https://doi.org/10.1186/s41938-021-00366-w

Ribeiro, I. A. T. de A., Silva, R. da, Silva, A. G. da, Milet-Pinheiro, P., Paiva, P. M. G., Navarro, D. M. do A. F., Silva, M. V. da, Napoleão, T. H., & Correia, M. T. dos S. (2020). Chemical characterization and insecticidal effect against *Sitophilus zeamais* (maize weevil) of essential oil from *Croton rudolphianus* leaves. *Crop Protection*, *129*, 105043. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105043

Rodrigues, M. H. B. S., Sousa, V. F. de O., Santos, G. L. dos, Nóbrega, E. P., & Andrade, F. E. de. (2018). Armazenamento de grãos em pequenas propriedades de São Francisco, Paraíba, Brasil. *Colloquium Agrariae*, *14*(2), 35–47. https://doi.org/10.5747/ca.2018.v14.n2.a204

Rosa, J. S., Oliveira, L., Sousa, R. M. O. F., Escobar, C. B., & Fernandes-Ferreira, M. (2020). Bioactivity of some Apiaceae essential oils and their constituents against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Bulletin of Entomological Research*, *110*(3), 406–416. https://doi.org/10.1017/S0007485319000774

Santana, L. K. N. de, Oliveira, M. de F. S. S., Ribeiro, G. T., Poderoso, J. C. M., Santos, I. T. B. F. dos, Pinheiro, H. S. S., Silva, S. S., & Santos, T. S. (2018). Análise do efeito do óleo essencial de *Lippia sidoides* sobre *Atta sexdens* (Hymenoptera: Formicidae). *Revista Ciência Agrícola*, *16*, 55–58. https://doi.org/10.28998/rca.v16i0.6589

Santos, J. P. (2006). *Controle de pragas durante o armazenamento de milho* (Circular Técnica 84). Embrapa Milho e Sorgo. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/490416

Santos, P. C. e, Granero, F. O., Bronzel Junior, J. L., Pavarini, R., Pavarini, G. M. P., Chorilli, M., Zambom, C. R., Silva, L. P., & Silva, R. M. G. da. (2022). Insecticidal activity of *Tagetes erecta* and *Tagetes patula* extracts and fractions

free and microencapsulated. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *45*, 102511. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102511

Silva, F. S. da, Porto, A. G., Pascuali, L. C., & Silva, F. T. C. da. (2010). Viabilidade do armazenamento de sementes em diferentes embalagens para pequenas propriedades rurais. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, *8*(1), 45–56. https://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol8/5_artigo_v8.pdf

Spletozer, A. G., Santos, C. R. dos, Sanches, L. A., & Garlet, J. (2021). Plantas com potencial inseticida: Enfoque em espécies amazônicas. *Ciência Florestal*, *31*(2), 974–997. https://doi.org/10.5902/1980509832244

Toledo, M. Z., Fonseca, N. R., César, M. L., Soratto, R. P., Cavariani, C., & Crusciol, C. A. C. (2009). Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, *39*(2), 124–133. https://doi.org/10.5216/pat.v39i2.3486

Tourabi, M., Nouioura, G., Touijer, H., Baghouz, A., El Ghouizi, A., Chebaibi, M., Bakour, M., Ousaaid, D., Almaary, K. S., Nafidi, H.-A., Bourhia, M., Farid, K., Lyoussi, B., & Derwich, E. (2023). Antioxidant, antimicrobial, and insecticidal properties of chemically characterized essential oils extracted from *Mentha longifolia*: In vitro and in silico analysis. *Plants*, *12*(21), 3783. https://doi.org/10.3390/plants12213783

USDA. (2018). *USDA agricultural projections to 2027* (Long-term Projections Report OCE-2018-1). Office of the Chief Economist. https://www.ers.usda.gov/publications/87458

Villela, F. A., & Peres, W. B. (2004). Coleta, beneficiamento e armazenamento. In A. G. Ferreira & F. Borghetti (Eds.), *Germinação: Do básico ao aplicado* (pp. 265–281). Artmed.

Wagner, L. S., Sequin, C. J., Foti, N., & Campos-Soldini, M. P. (2021). Insecticidal, fungicidal, phytotoxic activity and chemical composition of *Lavandula dentata* essential oil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *35*, 102092. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102092

Wanna, R., & Kaewduangta, W. (2022). Fumigant activity of *Tridax procumbens* (Asterales: Asteraceae) essential oil against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and its effects on Thai rice seed germination. *Journal of Entomological Science*, *57*(4), 561–572. https://doi.org/10.18474/JES22-02

Wanna, R., & Khaengkhan, P. (2023). Insecticidal activity of essential oil from seeds of *Foeniculum vulgare* (Apiales: Apiaceae) against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) and its effects on crop seed germination. *Journal of Entomological Science*, *58*(1), 104–116. https://doi.org/10.18474/JES22-13

Wanna, R., & Krasaetep, J. (2019). Chemical composition and insecticidal activity of Indian borage essential oil against maize weevil. *International Journal of GEOMATE*, *16*(56), 59–64. https://doi.org/10.21660/2019.56.4580

Yang, Y., Isman, M. B., & Tak, J.-H. (2020). Insecticidal activity of 28 essential oils and a commercial product containing *Cinnamomum cassia* bark essential oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Insects*, *11*(8), 474. https://doi.org/10.3390/insects11080474

Zimmermann, R. C., Aragão, C. E. de C., Araújo, P. J. P. de, Benatto, A., Chaaban, A., Martins, C. E. N., Amaral, W. do, Cipriano, R. R., Zawadneak, M. A. C., & Santos, R. S. S. dos. (2021). Insecticide activity and toxicity of essential oils against two stored-product insects. *Crop Protection*, *144*, 105575. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105575