



CARLOS JÚNIOR GUIMARÃES LAMOUNIER

**ÓLEOS ESSENCIAIS: ALIADOS NATURAIS PARA A
CONSERVAÇÃO DE GRÃOS ARMAZENADOS E
SEGURANÇA ALIMENTAR**

LAVRAS-MG

2024

CARLOS JÚNIOR GUIMARÃES LAMOUNIER

**ÓLEOS ESSENCIAIS: ALIADOS NATURAIS PARA A CONSERVAÇÃO DE
GRÃOS ARMAZENADOS E SEGURANÇA ALIMENTAR**

Trabalho de conclusão de curso (TCC)
apresentado à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do curso de Agronomia,
para obtenção do título de Bacharel.

Prof.(a) Dr(a). Suzan Kelly Vilela Bertolucci
Orientadora

Dr(a). Júlia Assunção de Castro Oliveira
Co-orientadora

LAVRAS-MG

2024

CARLOS JÚNIOR GUIMARÃES LAMOUNIER

**ÓLEOS ESSENCIAIS: ALIADOS NATURAIS PARA A CONSERVAÇÃO DE
GRÃOS ARMAZENADOS E SEGURANÇA ALIMENTAR**

**ESSENTIAL OILS: NATURAL ALLIES FOR PRESERVING STORED GRAINS AND
FOOD SAFETY**

Trabalho de conclusão de curso (TCC)
apresentado à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do curso de Agronomia,
para obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em 21 de agosto de 2024

Dr(a). Suzan Kelly Vilela Bertolucci DAG
Dr.(a). Júlia Assunção de Castro Oliveira DEN
M.Sc. Karolina Gomes de Figueiredo DEN

Prof.(a) Dr(a). Suzan Kelly Vilela Bertolucci
Orientadora

Dr(a). Júlia Assunção de Castro Oliveira
Co-orientadora

LAVRAS-MG

2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram diretamente ou indiretamente durante o meu processo de formação e para a realização deste trabalho.

Agradeço a Deus e a todos os seres espirituais que me acompanham, por me guiarem e me fortalecerem durante esta jornada.

À minha família, especialmente aos meus pais Carlos Roberto e Maria Madalena por seu amor incondicional. Ao meu irmão Eric por todo apoio e incentivo. Aos meus sobrinhos Isaac e Catarine, por serem fontes constantes de alegria.

À minha professora e orientadora Suzan Kelly Vilela Bertolucci, pela confiança, sábia orientação e auxílio.

À minha co-orientadora Júlia Assunção de Castro Oliveira, pela valiosa colaboração e suporte durante a condução desse trabalho.

Aos meus irmãos da Fraternidade Águas de Maria, por serem luz em minha vida.

Agradeço também a todos meus amigos, especialmente Nathan Lopes, Thaiany Campos e Letícia Fernandes, por estarem sempre ao meu lado.

E, finalmente, à Universidade Federal de Lavras, por me proporcionar um ensino de qualidade.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O Brasil é um dos principais produtores globais de grãos. A qualidade e a quantidade desses grãos dependem do processamento e do armazenamento adequado. Para tanto, são utilizados produtos que reduzem os danos por microrganismos ou pragas, prolongando sua durabilidade e tempo de prateleira. Neste sentido, os óleos essenciais (OEs), obtidos de plantas aromáticas, surgem como uma alternativa sustentável aos produtos sintéticos, comumente usados. Objetivou-se a partir desse estudo, realizar uma revisão bibliográfica para averiguar o potencial uso de diferentes OEs na conservação de grãos armazenados. As palavras-chave selecionadas para a busca de artigos incluíram "essential oils", "grain conservation", "grain storage", "grain pest control", "phytopathogenic agents", "sustainability in agriculture", "natural pesticides", "condiment plants and grains", "quality of stored grains" and "grain protection with essential oils". As palavras-chave foram combinadas utilizando operadores booleanos ("AND" e "OR") para refinar a pesquisa e identificar os estudos mais pertinentes ao tema proposto. Os artigos científicos foram buscados nas bases de dados: Scopus, Web of Science e SciELO. Os critérios de inclusão para seleção dos artigos foram baseados na relevância do tema, data de publicação (anos 2020 a 2024) e disponibilidade do texto completo. Artigos que não abordaram diretamente a utilização de OEs na conservação de grãos armazenados foram excluídos. Após as etapas iniciais de seleção, 242 estudos foram validados para leitura e seleção final, onde 154 estudos foram considerados aptos para esta revisão. Em suma, este levantamento demonstrou o potencial uso dos OEs para um grande número de pragas. Dentre os potenciais que se destacaram, temos: as atividades fumigante, repelente e de contato. Assim os OEs são capazes de contribuir significativamente no desenvolvimento de produtos que venham promover práticas agrícolas mais sustentáveis, além de desempenhar um papel fundamental na promoção da segurança alimentar. Entretanto, alguns desafios ainda precisam ser superados, sendo necessários novos investimentos em pesquisas e no desenvolvimento de técnicas que garantam a estabilidade, a consistência dos compostos em diferentes condições de armazenamento e que reduzam a toxicidade para organismos não-alvo. Desse modo, a utilização de produtos à base de OEs poderá se tornar uma prática amplamente adotada e eficiente, beneficiando agricultores, comerciantes e consumidores e contribuindo para o desenvolvimento científico e tecnológico do setor agrícola no contexto da conservação de grãos armazenados.

Palavras-chave: Plantas medicinais; Bioinseticidas; Controle alternativo; Agricultura sustentável.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
2.1	Óleos Essenciais.....	8
2.1.1	Métodos de Obtenção.....	9
2.2	Potencial dos óleos essenciais.....	11
2.2.1	Propriedades antimicrobianas.....	11
2.2.2	Propriedades antioxidantes.....	12
2.2.3	Propriedades inseticidas.....	13
2.3	Óleos essenciais e sua aplicação na conservação de alimentos.....	14
2.4	Grãos armazenados.....	15
2.4.1	Principais pragas de grãos armazenados.....	16
2.4.1.1	Insetos.....	16
2.4.1.2	Fungos.....	17
2.4.2	Métodos químicos no controle de pragas de grãos armazenados.....	18
2.4.3	Importância da conservação de grãos armazenados para a segurança alimentar e a prevenção de perdas pós-colheita.....	19
3.	METODOLOGIA.....	20
3.1	Base de dados e critérios de pesquisa.....	21
3.2	Critérios de inclusão e exclusão.....	21
3.3	Etapas de seleção de trabalhos.....	21
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1	Tipos de grãos.....	22
4.2	Produtos.....	23
4.3	Países.....	24
4.4	Plantas mais estudadas.....	25
4.4.1	Principais famílias e espécies estudadas.....	25
4.4.2	Principais espécies estudadas.....	28
4.4.2.1	<i>Eucalyptus</i>	29
4.4.2.2	<i>Cymbopogon flexuosus</i> / <i>Cymbopogon citratus</i> (Capim-limão).....	29
4.4.2.3	<i>Rosmarinus officinalis</i> (Alecrim).....	30
4.4.2.4	<i>Syzygium aromaticum</i> (Cravo-da-índia).....	31

4.4.2.5 <i>Ocimum basilicum</i> (Manjeriç�o).....	32
4.4.2.6 <i>Origanum vulgare</i> (Or�gano).....	32
4.4.2.7 <i>Allium sativum</i> (Alho).....	33
4.4.2.8 <i>Thymus vulgaris</i> (Tomilho).....	34
4.5 Principais compostos bioativos.....	35
4.5.1 Limoneno.....	35
4.5.2 Citral.....	36
4.5.3 Linalol.....	36
4.5.4 Eugenol.....	37
4.5.5 α -Pinenol.....	38
4.5.6 1,8-Cineol.....	38
4.5.7 Estragol.....	39
4.5.8 Terpineol.....	39
4.5.9 Carvacrol.....	40
4.5.10 Timol.....	41
4.6 Principais pragas.....	41
4.6.1 <i>Tribolium castaneum</i>	41
4.6.2 <i>Sitophilus oryzae</i>	42
4.6.3 <i>Sitophilus zeamais</i>	42
4.6.4 <i>Callosobruchus maculatus</i>	43
4.6.5 <i>Rhyzopertha dominica</i>	43
4.7 Principais fungos.....	43
4.7.1 <i>Aspergillus</i>	44
4.7.2 <i>Fusarium</i>	44
4.8 Principais técnicas de aplica�o de óleos essenciais.....	45
4.9 Desafios e perspectivas.....	46
5 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

O armazenamento de grãos é uma etapa crucial no processo pós-colheita, sendo fundamental para a manutenção da qualidade e quantidade dos produtos agrícolas. No entanto, durante o armazenamento, os grãos estão suscetíveis à deterioração causada por diversos fatores, incluindo a infestação por insetos e o desenvolvimento de fungos. Estes fatores quando são favorecidos pela falta de investimento em estruturas de armazenagem corretas, podem comprometer tanto o valor nutricional quanto a viabilidade dos grãos, resultando em perdas econômicas significativas (LORINI *et al.*, 2015; CARVALHO E RODRIGUES, 2023). Ainda no campo ou em armazéns de grãos, cerca de 20.000 espécies diferentes de pragas contribuem para a perda de aproximadamente um terço da produção mundial (MANANDHAR *et al.*, 2018; AHMAD *et al.*, 2021). Principalmente nos países em desenvolvimento, as perdas pós-colheita representam desafios que podem impactar diretamente na economia e na segurança alimentar (ABDULLAHI E DANDAGO, 2021; STATHERS E MVUMI, 2020).

Os métodos tradicionais de controle de pragas em grãos armazenados têm se baseado fortemente no uso de fumigantes, como a fosfina (PH_3) (NAYAK *et al.*, 2020). No entanto, embora eficazes, esses métodos apresentam desvantagens significativas, incluindo a persistência de resíduos tóxicos, o desenvolvimento de resistência por parte das pragas e potenciais impactos negativos na saúde humana e ambiental (BRASIL, 2021; STEJSKAL *et al.*, 2021). Devido aos efeitos indesejados, houve a proibição ou restrição de muitos inseticidas sintéticos, se fazendo cada vez mais necessária a busca por alternativas naturais, menos tóxicas e sustentáveis para o controle de pragas em grãos armazenados (NGEGBA *et al.*, 2022).

Nesse contexto, os óleos essenciais (OEs) têm emergido como uma solução potencialmente promissora e eficaz para pragas de grãos armazenados, em razão das suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes, antifúngica e inseticidas (STOLERU *et al.*, 2022; ALTAF *et al.*, 2021). Portanto, o uso dos OEs representa uma alternativa ecológica e sustentável ao uso de inseticidas químicos sintéticos, já que os pesticidas botânicos possuem inúmeras vantagens, como sua facilidade de decomposição por enzimas e rápida desintegração no ambiente. Devido a essa rápida decomposição, os pesticidas de origem botânica persistem menos no ambiente e por essa razão apresentam menor toxicidade para organismos não-alvo (LENGAI *et al.*, 2020).

Constituídos por uma mistura complexa de compostos químicos poucos solúveis em água, incluindo principalmente terpenos, terpenoides e fenilpropanoides, esses líquidos

aromáticos são obtidos de várias partes das plantas, como flores, botões, folhas, caules, galhos, sementes, frutos, raízes, madeira ou casca, utilizando diversas técnicas de extração (FALLEH *et al.*, 2020; AZIZ *et al.*, 2018). Esses compostos encontrados nos OEs, têm demonstrado eficácia contra uma ampla gama de bactérias, vírus, fungos e insetos (CIMINO *et al.*, 2021; CAMPOLO *et al.*, 2018). O limoneno por exemplo, é um composto encontrado em altas concentrações especialmente em OEs de frutos cítricos, como o limão e a laranja, que apresenta propriedades antifúngica, antimicrobiana, ação repelente e de inseticida. Portanto, pode ser uma opção mais segura e natural frente aos produtos sintéticos (MAIA, 2020).

Além disso, diversos estudos comprovaram que compostos como o timol, estragol, linalol, o citral, o eugenol, o 1,8-cineol, o α -pineno, o terpineol e o carvacrol presentes em diversas plantas aromáticas, têm mostrado potencial na conservação de alimentos e no controle de pragas de grãos armazenados. Pesquisas sugerem que esses compostos atuam interferindo nos processos fisiológicos dos insetos, levando-os à morte, além de prevenirem a oxidação e a proliferação de microrganismos em alimentos (MEENA E LAL, 2019; CHAUDHARI *et al.*, 2020; PATEIRO *et al.*, 2021). Dada a vasta gama de atividades biológicas dos OEs e a necessidade urgente de soluções mais sustentáveis no manejo de pragas de grãos armazenados, este trabalho se propôs realizar uma revisão bibliográfica sobre as propriedades dos OEs na conservação de grãos armazenados. Assim, o presente trabalho demonstra a eficácia desses compostos naturais em comparação com os métodos tradicionais de controle, explorando seu potencial como uma alternativa viável e ecologicamente correta na preservação da qualidade dos grãos durante o armazenamento.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Óleos Essenciais

As plantas possuem a capacidade de produzirem moléculas por meio de dois metabolismos: o primário e o secundário. O metabolismo primário desempenha funções vitais para os vegetais, onde os compostos presentes como as proteínas, carboidratos, aminoácidos e ácidos nucleicos, desempenham funções tais como a fotossíntese, respiração e transporte de solutos. Por outro lado, o metabolismo secundário está diretamente relacionado a proteção e a interação das plantas com o ambiente e com outros organismos (CUNHA *et al.*, 2016; SILVA, BIZERRA E FERNANDES, 2018; BARRETO *et al.*, 2020).

Os OEs são oriundos do metabolismo secundário e podem ser extraídos de diferentes partes das plantas, como folhas, flores, frutos, caules, cascas e raízes (NIKMARAM *et al.*, 2018). Esses compostos, que incluem compostos fenilpropanóides e terpenos, possuem baixo peso molecular e são notáveis por sua natureza aromática e volátil (ZENGIN *et al.*, 2018; DHARA *et al.*, 2013; VASIREDDY, 2018). Em geral, são líquidos em temperatura ambiente, embora alguns possam ter uma consistência resinosa ou mesmo sólida. Quanto à coloração, uma ampla gama é observada, variando de tons vermelho-acastanhados a azuis ou de amarelos a verdes, passando por tons mais pálidos ou escuros (SARANRAJ E DEVI, 2018).

A variada composição química dos metabólitos secundários permite o desempenho em ações importantes no sistema de defesa de plantas (CORREIA *et al.*, 2008; GIMENEZ *et al.*, 2018), pois possuem propriedades que inibem uma grande variedade de organismos, tais como bactérias, fungos, vírus e insetos (FERREIRA, 2012). Neste sentido, os OEs e extratos têm sido amplamente utilizados como matéria-prima nos diversos setores industriais (SAMADI *et al.*, 2021), desempenhando funções importantes dentro das indústrias farmacêuticas, alimentícias, agrícolas, cosméticas e de saúde (AĆIMOVIĆ *et al.*, 2022).

Não se sabe com exatidão quando os OEs começaram a ser explorados, entretanto há escritas que indicam que no oriente, há aproximadamente 3.000 anos, povos egípcios faziam uso de OEs para diversas finalidades, desde aos cuidados com a pele, embalsamamento, rituais religiosos ou perfumaria (SANTOS, 2011). Um fato importante a se considerar sobre a composição dos OEs é que, dependendo do método de obtenção utilizado e do momento de colheita das partes vegetais, a concentração dos compostos e suas propriedades físicas, assim como a consistência e a composição, podem sofrer variações consideráveis. Essas variações têm o potencial de influenciar significativamente na ação dos OEs (BARATA *et al.*, 2018).

A estrutura química dos OEs pode exibir uma grande diversidade, porém, é frequente observar a presença dos mesmos compostos predominantes dentro da mesma espécie ou gênero (OYEDEJI *et al.*, 2009). Entretanto, devido às influências das interações ecológicas entre a planta e o ambiente em que está inserida, a composição pode variar consideravelmente, mesmo entre plantas do mesmo gênero ou da mesma espécie, resultando na formação de diferentes metabólitos secundários (DE FREITAS, 2023).

2.1.1 Métodos de Obtenção

Existem diversos métodos disponíveis para se obter os OEs, os quais são selecionados com base no valor econômico do produto e na parte da planta onde o OE está mais concentrado (BIASI; DESCHAMPS, 2009). A destilação por arraste a vapor, hidrodestilação, expressão a frio, extração com solventes orgânicos, extração com fluido supercrítico são alguns exemplos. Alguns desses métodos tradicionais têm sido objeto de estudo por muitos anos e alcançaram um alto nível de desenvolvimento tecnológico, enquanto outros são técnicas mais recentes, cujas potencialidades e aplicações ainda estão sendo exploradas e refinadas (LAPKIN, 2006; BELWAL, 2020). Na tabela 1 observa-se alguns desses métodos.

Tabela 1 - Métodos de obtenção de óleos essenciais

(Continua)

Método de Obtenção	Descrição	Referência
Destilação a Vapor	Na destilação a vapor, a planta é colocada no extrator onde o vapor d'água passa através da planta, liberando os OEs e os carregando consigo. Em seguida, o vapor, junto com os OEs, é resfriado em um condensador se transformando novamente em líquido. A seguir ocorre a separação das fases.	(CASSEL, 2008; CASSEL, 2009)
Expressão ou prensagem a Frio	Esse método é utilizado na extração de OEs de frutos cítricos, onde os pericarpos são submetidos a pressão para liberar o OE contido neles. Em seguida, a camada que contém o OE é separada. Para finalizar o processo, o OE é separado da emulsão formada com água, utilizando técnicas como decantação, centrifugação ou destilação fracionada.	(LIMA, 2006)
Extração por CO₂ Supercrítico	Nesse processo, o CO ₂ é submetido a condições de temperatura e pressão específicas, permitindo que ele se comporte tanto como gás quanto como líquido. Esse método é valorizado por sua eficiência na preservação das propriedades dos OEs, resultando em produtos de alta qualidade e pureza já que nenhum traço de solvente permanece.	(CASSEL <i>et al.</i> , 2008; LIMA, 2006; VARGAS <i>et al.</i> , 2006)
Extração por Solventes Orgânicos	As partes da planta contendo os OEs são colocadas em contato com o solvente, permitindo que os compostos voláteis sejam dissolvidos nele. Após um período, acontece a separação da fase sólida e líquida do material, a mistura resultante é filtrada para remover os sólidos indesejados da planta. O solvente é evaporado, restando os OEs concentrados.	(SARTOR, 2009; SILVEIRA <i>et al.</i> , 2012)

Tabela 1 - Métodos de obtenção de óleos essenciais

Método de Obtenção	Descrição	(Conclusão) Referência
Hidrodestilação	Método mais ancestral e versátil, onde a matéria vegetal é submetida à ação da água em fervura. O vapor resultante força a ruptura das paredes celulares, permitindo que o OE seja liberado e carregado pelo vapor d'água. Esse vapor, composto pela mistura do OE e da água, é então resfriado em um condensador. Devido à imiscibilidade dos componentes voláteis e da água, ocorre a separação em duas fases líquidas distintas, que podem ser facilmente separadas.	(FILLY <i>et al.</i> , 2016; SINGH CHOUHAN <i>et al.</i> , 2019; BURGER <i>et al.</i> , 2019; CVJETKO BUBALO <i>et al.</i> , 2018)

Fonte: Do Autor (2024).

2.2 Potencial dos óleos essenciais

Os OEs são conhecidos por suas propriedades antimicrobianas (HUONG *et al.*, 2024; AWUCHI; MORYA, 2023), antioxidantes (KASHYAP *et al.*, 2023; PAN; LUO; GONG, 2023) e inseticidas (MOSSA, 2016; TRIVEDI *et al.*, 2018; SOUTO *et al.*, 2021), tornando-os alternativas naturais na conservação de alimentos e atuando como uma fonte promissora no controle de pragas.

Constituídos por compostos químicos, incluindo terpenos e fenóis, os OEs possuem atividades contra uma grande diversidade de bactérias, vírus e fungos (CIMINO *et al.*, 2021). Com ação inseticida possuem a capacidade de interferir nos processos fisiológicos, inibindo o crescimento e o desenvolvimento dos insetos, levando-os a morte (ISMAN, 2006; TRIVEDI *et al.*, 2018; SOUTO *et al.*, 2021). Além disso, esses compostos também exibem atividade antioxidante, prevenindo a oxidação lipídica em alimentos, já que são capazes de neutralizar os radicais livres, inibindo a formação de espécies reativas de oxigênio (BAKKALI *et al.*, 2008).

2.2.1 Propriedades antimicrobianas

Os OEs contêm uma variedade de substâncias ativas com forte atividade contra microrganismos, o que os torna potenciais candidatos para a preservação de alimentos (OLIVEIRA *et al.*, 2021). Seu uso se torna eficaz em razão da hidrofobicidade, onde seus componentes ativos interagem com os lipídeos presentes na membrana celular. Isso ocasiona danos, afetando várias funções importantes da célula, como transporte de elétrons, absorção de

nutrientes, produção de proteínas e ácidos nucleicos, além de coagulação celular. Esses efeitos prejudiciais acabam causando a morte das células microbianas (BHAVANIRAMYA *et al.*, 2019; BURT, 2004).

Quanto aos fungos, os OEs podem interferir nas defesas naturais dos esporos ou inibir sua formação, levando ao desenvolvimento anormal ou à ruptura dos tubos germinativos (BECERRIL; NERÍN; SILVA, 2020; DANTIGNY; NANGUY, 2009). Sendo assim, esses compostos têm sido conhecidos por sua capacidade de inibir ou retardar o crescimento de uma variedade de microrganismos, incluindo bactérias patogênicas, leveduras e bolores (SANTOS; PICCOLI; TEBALDI, 2017).

Sendo as propriedades antimicrobianas dos OEs amplamente reconhecidas, esses mostram-se eficientes na conservação de grãos armazenados. Segundo NASCIMENTO *et al.* (2021), OEs como os de *Rosmarinus officinalis* L. (alecrim), *Thymus vulgaris* L. (tomilho) e *Syzygium aromaricum* (L.) Merr. & L.M.Perry (cravo), contêm compostos fenólicos que demonstram forte atividade antimicrobiana contra fungos e bactérias. Esses compostos atuam afetando funções metabólicas vitais e interferem na membrana celular dos microrganismos, inibindo assim seu crescimento e proliferação. Outros estudos, como os de BEN MIRI *et al.* (2023), demonstraram que os compostos presentes nos OEs podem reduzir significativamente a carga microbiana em grãos armazenados, melhorando sua qualidade e prolongando a vida útil. Esses estudos, contribuem com a concepção de que a utilização de OEs pode ser uma alternativa sustentável aos produtos sintéticos.

2.2.2 Propriedades antioxidantes

Os antioxidantes são substâncias, tanto naturais quanto sintéticas, que possuem a capacidade de neutralizar espécies reativas, resultando na diminuição ou inibição do estresse oxidativo (NEHA *et al.*, 2019). Os OEs não apenas desempenham funções defensivas específicas nas plantas, mas também exibem propriedades antioxidantes. Há compostos presentes que podem neutralizar ou inibir a ação dos radicais livres (SIHAG *et al.*, 2022). Ainda conforme observado por FRANKEL (1999), a ação antioxidante dos compostos fenólicos naturais impede a oxidação biológica por meio de um mecanismo complexo, que ocorre em várias etapas. Esses compostos podem envolver uma variedade de mecanismos de defesa antioxidante, com variadas funções, desde impedir a formação de agentes oxidantes até capturar oxidantes ativos e reduzir intermediários reativos.

Durante o armazenamento de grãos, alguns fatores, associados à grande quantidade de gordura que alguns tipos de grãos contêm, facilitam o início de uma série de reações físico-químicas, bioquímicas e metabólicas. Alguns grãos como o amendoim, por exemplo, possuem altos níveis de ácidos graxos insaturados (oleico e linoleico), que os tornam ainda mais suscetíveis à oxidação lipídica, o que pode levar a uma perda significativa de qualidade, com formação de metabólitos primários e secundários de oxidação, muitas vezes tóxicos para animais e humanos (FLORIANO *et al.*, 2023). Desse modo, devido às suas reconhecidas propriedades antioxidantes e, geralmente, sua natureza não tóxica, compostos presentes nos OEs têm despertado interesse crescente como alternativa aos antioxidantes sintéticos, que apresentam potenciais riscos à saúde. Nos últimos anos, houve um aumento significativo de estudos científicos investigando a atividade antioxidante de diversos OEs, destacando sua eficácia nessa atividade (CHRYSARGYRIS *et al.*, 2020; MUTLU-INGOK *et al.*, 2020; PRIYANKKA E SHANKAR, 2024). Tornando-os também promissores na preservação de grãos durante o armazenamento.

2.2.3 Propriedades inseticidas

Os OEs também podem apresentar atividade inseticida, podendo causar danos ou morte aos insetos de diferentes formas, como por contato, ingestão ou fumigação (MAGALHÃES *et al.*, 2015; CAMPOLO *et al.*, 2018). A eficácia pode variar conforme a dosagem e concentração, podendo agir de diferentes formas (BEDINI; FARINA; CONTI, 2019). Assim, os OEs e seus compostos podem causar impactos diretamente no sistema nervoso central dos insetos, afetando diversos aspectos de sua fisiologia, desenvolvimento, capacidade alimentar e comportamento de oviposição, além de causar mortalidade (RATTAN, 2010; COITINHO, 2011; LUCENA *et al.*, 2017). Os inseticidas botânicos, podem ser empregados de diferentes formas, sendo capazes de fornecerem alternativas para o controle de insetos, onde proporcionam uma contribuição importante para o manejo de pragas (ROEL, 2001; KRINSKI *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Os insetos-praga são um grande problema que afetam diretamente o armazenamento de grãos, visto que causam danos abrangentes. Atualmente, o método comumente usado para prevenir pragas de depósito é a fumigação com pesticidas químicos (SUN, 2016). No entanto, como pontuado por RAMADAN *et al.* (2020), os pesticidas químicos, embora tenham um impacto venenoso potente sobre os insetos, com o tempo, o uso indevido de altas concentrações

pode resultar em grandes problemas, como resistência, resíduos de pesticidas e contaminação ambiental, por exemplo. Em vista disso, os OEs com suas diferentes bioatividades reconhecidas, são considerados uma solução sustentável para o manejo de pragas de insetos em produtos armazenados (MOTA *et al.*, 2022).

2.3 Óleos essenciais e sua aplicação na conservação de alimentos

É de conhecimento comum que os alimentos estão sujeitos a mudanças, sejam elas por influência da atividade microbiana ou por processos oxidativos. Enquanto os microrganismos podem provocar alterações químicas, físicas e biológicas, a oxidação resulta em modificações indesejáveis na coloração, sabor, aroma e textura (FRANCO; LANDGRAF, 2006; RIBEIRO; SERAVALLI, 2007). A presença de microrganismos em alimentos além de acarretar consideráveis perdas para a indústria devido à deterioração dos produtos, representa uma verdadeira ameaça à saúde pública, já que seu consumo, aumenta o risco de doenças transmitidas por alimentos contaminados (BECERRIL; NERÍN; SILVA, 2020). Em vista disso, a conservação de alimentos tem por objetivo preservar sua estabilidade, garantindo que permaneçam livres desses microrganismos, assim como de enzimas que possam causar alterações indesejáveis (HONORATO *et al.*, 2011).

Existem diversas técnicas de preservação que permitem prolongar a vida útil e assegurar a qualidade dos produtos alimentícios. Métodos como desidratação, congelamento, pasteurização, secagem e muitos outros (PAULA *et al.*, 2019). No entanto, quando tais métodos não são viáveis para certos tipos de alimentos, a fim de garantir a qualidade e segurança, torna-se imprescindível recorrer ao uso de aditivos químicos, conservantes e antioxidantes para atender as exigências do mercado (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019). Ainda assim, alimentos que apresentam elevados teores de conservantes sintéticos são frequentemente criticados devido aos potenciais danos que podem causar à saúde (BETINA, 2019; GALO *et al.*, 2018). Nesse contexto, se torna imprescindível a procura por opções mais saudáveis, capazes de reduzir ou eliminar patógenos nos alimentos sem comprometer a saúde (BASSOLÉ E JULIANI, 2012). Em razão disso, a indústria de alimentos tem investido em pesquisas com OEs como alternativas naturais ao uso de conservantes sintéticos (RADÜNZ *et al.*, 2019).

Os OEs, segundo DURÇO (2021), emergem como uma alternativa promissora devido ao seu emprego ancestral em práticas alimentares e terapêuticas, além de suas propriedades físico-químicas que respaldam sua aplicação na indústria de alimentos. Extraídos de diferentes

partes das plantas, desempenham um papel crucial na conservação dos alimentos, graças às suas diversas propriedades. Esses compostos possuem características antioxidantes que previnem as reações de oxidação, evitando assim alterações nos alimentos. Além disso, suas propriedades antimicrobianas são especialmente importantes, pois combatem microrganismos prejudiciais a conservação, permitindo a produção de alimentos mais saudáveis e com maior vida útil nas prateleiras (MASYITA *et al.*, 2022). Sendo assim, tornam-se uma alternativa para serem utilizados de maneira comparável aos conservantes químicos, com a finalidade de afirmar a segurança e eficácia (DIAS *et al.*, 2021).

2.4 Grãos armazenados

Ao longo da história, houve uma constante busca pela preservação de alimentos, impulsionada pela necessidade de garantir a alimentação e a sobrevivência da espécie. Isso se deve ao fato de que os alimentos de origem animal e vegetal são naturalmente suscetíveis a alterações causadas por diferentes agentes, o que pode comprometer tanto a qualidade dos alimentos, quanto ser prejudicial à saúde (CANEPPELE *et al.*, 2003). De acordo com LORINI (2015), um dos maiores desafios no processo de armazenamento está relacionado com a umidade, temperatura e com a presença de pragas e doenças, que podem afetar diretamente a qualidade e o peso das sementes e grãos, bem como sua capacidade de germinação. É fundamental, portanto, controlar a deterioração, já que esse processo natural resulta em alterações físicas e compromete a capacidade fisiológica dos produtos (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

O controle químico de pragas em grãos armazenados é amplamente empregado devido à sua praticidade, rápida eficácia e eficiência econômica. No entanto, os métodos conhecidos enfrentam desafios significativos. A presença residual de produtos químicos nos grãos armazenados, riscos elevados para trabalhadores e para o meio ambiente, além do desenvolvimento de resistência por parte de pragas, são algumas dificuldades (SOARES *et al.*, 2009). Nesse contexto, se busca explorar opções provenientes de fontes naturais que possam ser utilizadas como pesticidas de forma eficaz no controle integrado de pragas, sem apresentar riscos à saúde humana ou aos recursos naturais. (DIETRICH *et al.*, 2011).

Entre os pesticidas naturais, os OEs se destacam, sendo também conhecidos como óleos voláteis, óleos etéreos ou essências (PEREIRA *et al.*, 2014). Representam uma alternativa eficaz para o combate de pragas em produtos armazenados, causando um impacto ambiental

reduzido em comparação com os inseticidas sintéticos, podendo ser considerados pesticidas ecológicos. Além disso, eles são biodegradáveis e podem ser aplicados em diversas culturas (ZIMMERMANN *et al.*, 2020).

2.4.1 Principais pragas de grãos armazenados

Segundo PEREIRA, CARDOSO E CHAGAS (2009), diversas espécies de pragas representam uma ameaça constante para os produtos armazenados e seus derivados, sendo os insetos um dos principais responsáveis por perdas significativas durante o armazenamento pós-colheita. Também é importante destacar que a ocorrência de fungos, que podem produzir micotoxinas, também acarretam muitos prejuízos, uma vez que tornam os grãos inadequados para uso e consumo, impactando diretamente em sua qualidade (FREITAS-SILVA *et al.*, 2020).

2.4.1.1 Insetos

Fatores físicos não controlados criam condições propícias para a proliferação de insetos durante o armazenamento, o que, por sua vez, afeta negativamente a capacidade de armazenamento dos grãos. Temperaturas na faixa de 25 a 35 °C promovem o rápido desenvolvimento da maioria dos insetos e pragas que infestam os grãos armazenados. Nessas condições, a reprodução é acelerada, resultando em maior consumo dos grãos e geração adicional de calor, criando um ambiente ideal para o crescimento de pragas (PAUL *et al.*, 2020). Quando ocorre uma infestação, através da alimentação e escavação dos grãos, causam tanto danos diretos quanto indiretos, resultando em perdas econômicas. Levam à perda da composição nutricional e do peso dos grãos, reduzem a germinação, causando uma queda significativa no valor de mercado dos produtos infestados, devido a fatores como teias, resíduos, excrementos e a presença de insetos mortos ou vivos (OKORI *et al.*, 2022; TADDESE *et al.*, 2020).

Com o crescimento populacional, atender à crescente demanda por alimentos se torna um desafio importante. Especialmente nos países em desenvolvimento, onde em sua maioria, há uma falta de ferramentas para o manejo de insetos pragas, o desafio é ainda maior. Afinal, infestações de pragas de armazenamento podem resultar em perdas anuais de produtos armazenados que chegam a 20% ou mais (ABDULLAHI E DANDAGO, 2021; STATHERS E MVUMI, 2020). Desse modo, quando há infestação por insetos pragas, os custos econômicos

relacionados às perdas durante a fase de pós-colheita e armazenamento representam um risco considerável (LOPEZ-CASTILHO *et al.*, 2018).

De acordo com seus hábitos alimentares, os insetos podem ser classificados em primários, secundários e associados. Enquanto os primários se alimentam diretamente do grão rompendo-o e atingindo o endosperma, os secundários agem em associação com os primários. Desse modo, os secundários conseguem se alimentar do endosperma após os primários romperem o grão. Já os insetos associados são aqueles que não se alimentam dos alimentos armazenados, mas, consomem detritos e fungos, sendo capazes de prejudicar a qualidade do produto por sua presença no ambiente (PEREIRA; CARDOSO; CHAGAS, 2009).

Existem diversos insetos pragas que atacam produtos armazenados, sendo alguns dos mais notáveis o *Trogoderma granarium* (Everts, 1898) (Coleoptera: Dermestidae), *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Bostrychidae), e *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). Estes insetos, conhecidos como besouro khapra, broca menor dos grãos e besouro vermelho da farinha, respectivamente, causam danos significativos aos alimentos armazenados em várias regiões (HASSAN *et al.*, 2023; SAKKA E ATHANASSIOU, 2022). Cepas de *R. dominica* e *T. castaneum* foram observadas em diversas condições climáticas ao redor do mundo. Entretanto, ambas as pragas proliferam rapidamente e causam infestações severas em alimentos armazenados, em climas quentes e úmidos (KHAN, H.A.A. E KHAN, T., 2023). *Rhyzopertha dominica* e *T. granarium* são considerados pragas de armazenamento primárias, pois podem penetrar a casca das sementes e geralmente se alimentam de grãos inteiros, enquanto *T. castaneum* é uma praga secundária que se alimenta de grãos quebrados, farinha e resíduos deixados por pragas primárias (BANGA *et al.*, 2020, SHAH *et al.*, 2021).

2.4.1.2 Fungos

Após a colheita, a contaminação dos grãos e sementes por fungos pode resultar em perdas de até 15% durante o armazenamento, afetando significativamente a qualidade dos grãos (SILVA *et al.*, 2013; SANTOS, 2008; LORENZO *et al.*, 2020). Os danos causam a diminuição da capacidade de germinação das sementes, mudanças na coloração, formação de pontos de aquecimento e de umidade na massa de grãos, além de acelerar reações químicas e reduzir a quantidade de matéria seca (SILVA, 2005; MARTÍN *et al.*, 2022).

Ainda de acordo com MARTÍN *et al.* (2022), os fungos podem ser separados em dois tipos: os que estão no campo, exigentes em alta umidade e contaminam os grãos durante o cultivo e os fungos do armazenamento, que, por não exigirem alta umidade para proliferação, se difundem ainda com maior intensidade nos grãos após a colheita. Dentre os gêneros de fungos mais relevantes em relação à produção de micotoxinas estão o *Aspergillus* sp (Micheli, 1729), o *Penicillium* sp (Link, 1809) e o *Fusarium* sp (Link, 1809) (VECCHIA; FORTES, 2007).

Os fungos do gênero *Aspergillus* são filamentosos e saprófitos ubíquos, capazes de secretar uma variedade de metabólitos e colonizar diversos ambientes e substratos, incluindo solo e alimentos (MURRAY; ROSENTHAL; PFALLER, 2017). As espécies de *Penicillium* são conhecidas por produzir uma ampla variedade de metabólitos secundários, muitos dos quais são tóxicos para a saúde. Essas micotoxinas representam um sério problema na agricultura e na indústria de alimentos, contaminando principalmente culturas como trigo, milho e amendoim (GREEFF-LAUBSCHER, 2020). Anteriormente, o gênero *Fusarium* spp. era associado apenas a patógenos de campo; no entanto, descobriu-se que certas espécies podem se desenvolver após a colheita e durante o armazenamento, o que compromete de forma significativa a qualidade dos grãos (MARIN *et al.*, 2004; CHULZE, 2010).

Os fungos, assim como os insetos, são organismos que comumente contaminam grãos armazenados, ocasionando perdas econômicas já que causam quedas no rendimento e na qualidade de grãos. Além disso, são extremamente prejudiciais a saúde humana devido a produção das micotoxinas. Os insetos muitas vezes atuam como vetores, disseminando os esporos dos fungos. Essa interação entre fungos e insetos pode acelerar o processo de deterioração dos grãos e aumentar as perdas durante o armazenamento (CRUZ *et al.*, 2008; SCHMIDT *et al.*, 2016).

2.4.2 Métodos químicos no controle de pragas de grãos armazenados

Os principais métodos químicos adotados para o controle de pragas em grãos armazenados envolvem o uso de inseticidas. O controle pode ser aplicado em tratamento preventivo e/ou curativo dos grãos. Além do uso de inseticidas protetores como piretroides e organofosforados, os métodos comumente utilizados para controlar insetos em grãos armazenados no Brasil, são a fumigação com produtos como o fosfeto de alumínio (AIP) e

fosfeto de magnésio (Mg_3P_2) (FARONI E SOUZA, 2010; LORINI *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2020).

Os fumigantes, com ingredientes ativos como o fosfeto de alumínio e o fosfeto de magnésio, são precursores da fosfina e funcionam bloqueando sistemas enzimáticos essenciais nas células dos organismos-alvo (FARONI E SOUSA, 2010; BRASIL, 2021). Já os piretroides, com deltametrina como ingrediente ativo, e os organofosforados, com pirimifós metílico, atuam como moduladores dos canais de sódio e inibidores da acetilcolinesterase, respectivamente (BRASIL, 2021). De acordo com FARONI E SOUSA (2010), a aplicação desses produtos permite que os compostos tóxicos permaneçam por longos períodos em concentrações letais para as pragas.

Visto que o controle de pragas em produtos armazenados é realizado principalmente por meio do uso de fumigantes, a fosfina, nome usual para o hidreto de fósforo (PH_3), frequentemente usada para este fim, tem como principal função preservar a qualidade dos alimentos, garantindo que as mercadorias estejam livres de pragas, facilitando o comércio internacional. Amplamente utilizada para o tratamento ao redor do mundo, tem um papel crucial no combate de pragas de grãos armazenados (NAYAK *et al.*, 2020).

Embora o controle químico seja o método mais utilizados para o controle de pragas de produtos armazenados, o uso incorreto de pesticidas químicos provoca efeitos colaterais. Comprovadamente prejudicial ao meio ambiente, colabora para o desenvolvimento de resistência de pragas, além de apresentar toxicidade para organismos não alvos, sendo nocivos aos seres humanos e animais (SHAKEEL *et al.*, 2017; DEVI *et al.*, 2022). A partir desse princípio, surge a necessidade de identificação de produtos naturais, como aqueles derivados de espécies botânicas, com potencial inseticida para fazer frente aos inseticidas químicos sintéticos (GAO *et al.*, 2020).

2.4.3 Importância da conservação de grãos armazenados para a segurança alimentar e a prevenção de perdas pós-colheita

Os grãos geralmente são armazenados por um período prolongado após a colheita, sendo essa fase a mais crucial entre outras operações pós-colheita (MANANDHAR *et al.*, 2018). Durante este período, os grãos estão mais vulneráveis à deterioração devido ao efeito combinado de diversos fatores e riscos. Portanto, é essencial garantir um ambiente de

armazenamento adequado e higiênico para minimizar as perdas de grãos (CHIGOVERAH *et al.*, 2016).

As perdas pós-colheita representam um desafio global, sendo capazes de afetar diretamente o setor agrônômico, interferindo na segurança alimentar. Desempenhando um papel crucial em todo o sistema alimentar global, a segurança alimentar afeta não apenas a qualidade dos alimentos, mas também a confiança dos consumidores no sistema como um todo. Desse modo, a contaminação dos alimentos tem um grande impacto, chegando a custar milhões em receitas perdidas e o aumento dos custos operacionais. Além disso, gera preocupações e medo entre os consumidores, reduzindo a disponibilidade de alimentos e minando a confiança no sistema alimentar (USGC, 2012).

Podendo ser classificadas em quantitativas e qualitativas, as perdas quantitativas dizem respeito à redução da quantidade ao longo dos processos de produção, armazenamento e transporte. Isso está ligado a diversos fatores e são causadas por derramamento, ataque de pragas ou devido a alterações de temperatura, umidade e mudanças químicas (WORKINEH E ENYEW, 2021). Por outro lado, as perdas qualitativas se referem às mudanças nas propriedades do produto, incluindo alterações na textura, sabor, aroma, bem como variações nos teores de nutrientes, como perda de vitaminas, minerais, açúcares e pigmentos, juntamente com outros tipos de deterioração (VILELA *et al.*, 2003). Com a queda da qualidade, os preços de venda, a competitividade e o potencial de mercado são prejudicados (CAIXETA, 2021).

Os processos pós-colheita mais do que simplesmente armazenar grãos, têm como principal objetivo conservar os alimentos para prevenção de perdas e promoção da segurança alimentar (CONAB, 2021). Desse modo, o objetivo primordial de um armazém de grãos deve ser manter a excelência dos produtos agrícolas ao longo das fases de processamento e armazenamento, visando preservar os produtos para consumo e assegurar a segurança alimentar (REGINATO *et al.*, 2014; CARVALHO *et al.*, 2017). Como destacado por NUNES (2016), a armazenagem desempenha um papel crucial nesse sentido, permitindo não apenas o armazenamento dos grãos, mas também a preservação de sua qualidade por períodos prolongados, desde que sejam implementadas as práticas adequadas de colheita, limpeza, secagem, controle de insetos e prevenção de microrganismos como fungos e bactérias.

3. METODOLOGIA

A metodologia aplicada no presente trabalho foi uma revisão bibliográfica sistemática com abordagem qualitativa e quantitativa de acordo com PEREIRA *et al.* (2018). Nos próximos tópicos serão detalhadas as técnicas utilizadas durante a pesquisa.

3.1 Base de dados e critérios de pesquisa

A busca pelos artigos nas bases de dados SciVerse Scopus, Web Of Science (WOS) e Scientific Eletronic Library Online (SciELO) foi realizada no dia 12 de abril de 2024, não havendo recorte temporal. As palavras-chave "essential oils", "grain conservation", "grain storage", "grain pest control", "phytopathogenic agents", "sustainability in agriculture", "natural pesticides", "condiment plants and grains", "quality of stored grains" and "grain protection with essential oils" foram utilizadas em diferentes combinações utilizando operadores booleanos ("AND" e "OR") objetivando refinar a pesquisa e identificar os estudos mais relevantes.

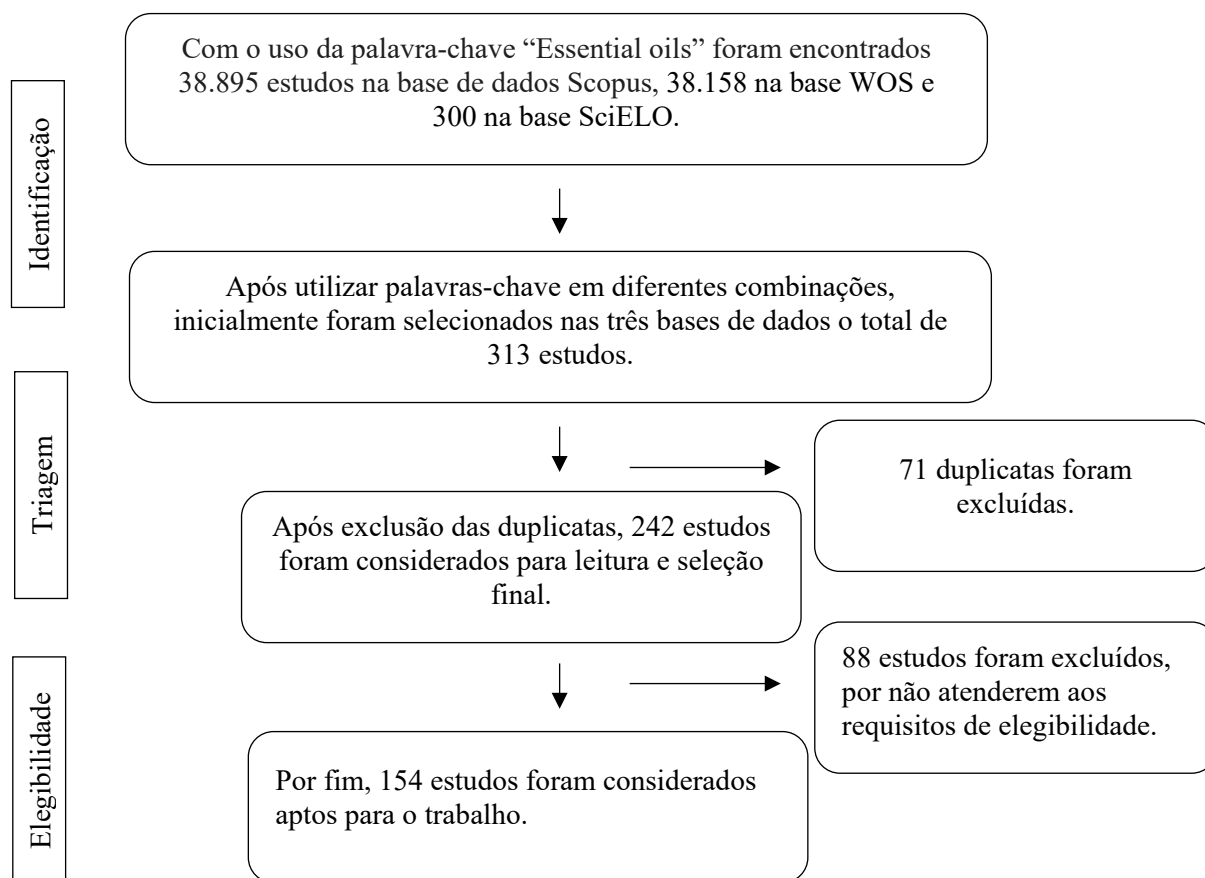
3.2 Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão e exclusão para seleção dos trabalhos foram baseados na relevância do tema, data de publicação (anos 2020 a 2024) e disponibilidade do texto completo. Trabalhos que não abordaram diretamente a utilização de OEs na conservação de grãos armazenados foram excluídos.

3.3 Etapas de seleção de trabalhos

Após aplicação dos descritores nas bases de dados foi possível selecionar inicialmente 313 trabalhos. Após o download, os arquivos foram importados para o gerenciador de bibliografia (EndNote), onde foram reunidos para a exclusão das duplicatas. Após essa exclusão, 242 referências foram então revisadas para seleção de trabalhos que abordassem diretamente a utilização de OEs na conservação de grãos armazenados. Por fim, foram obtidos 154 documentos que atenderam aos requisitos de elegibilidade desejado (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma



Legenda: Etapas seguidas no processo de seleção dos estudos incluídos na revisão bibliográfica. As fases incluem a identificação de registros através de bases de dados, triagem de registros duplicados, avaliação de títulos e resumos para elegibilidade, análise completa dos textos para inclusão e, finalmente, a seleção dos estudos pertinentes para o trabalho.

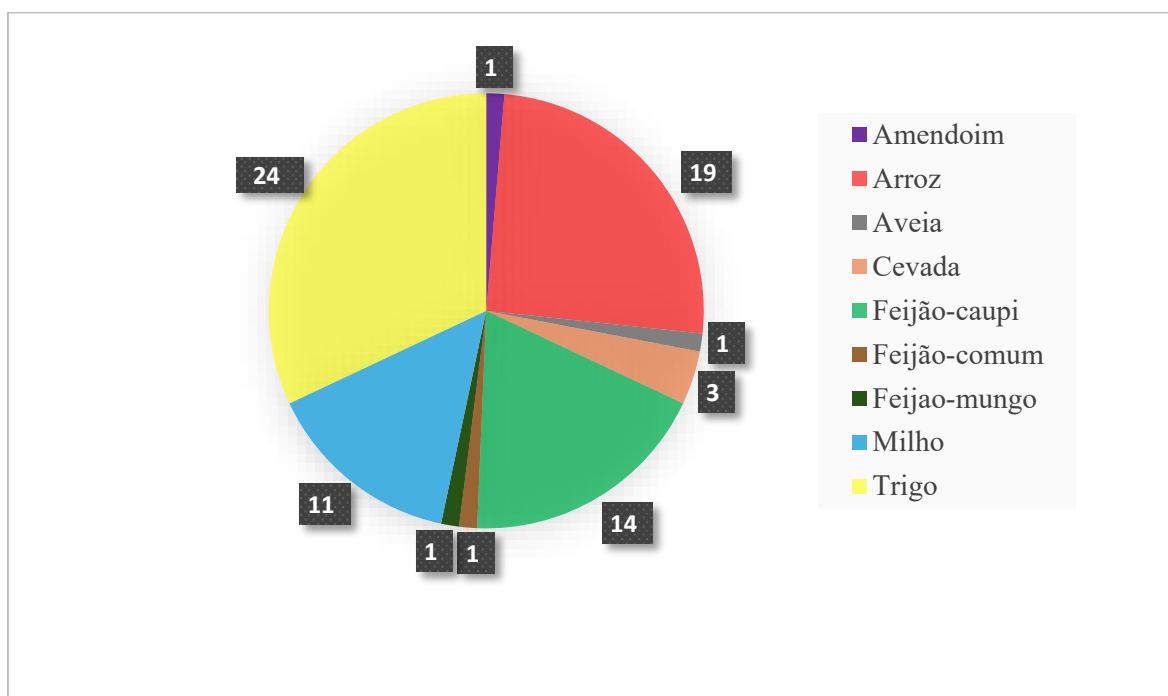
Fonte: Do autor (2024).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Tipos de grãos

Entre os artigos utilizados nesse trabalho foram contabilizadas nove espécies diferentes de grãos. O número de trabalhos e os tipos de grãos estão detalhados na Figura 2.

Figura 2 - Distribuição dos estudos científicos por tipo de grão.



Legenda: Distribuição dos estudos científicos que avaliaram o potencial de óleos essenciais na conservação de grãos armazenados, destacando a frequência de pesquisas realizadas em diferentes culturas agrícolas.

Fonte: Do autor (2024).

4.2 Produtos

Um OE desejável pelas indústrias é aquele que é reconhecido como seguro (GRAS – Generally Reconized as Safe) e que se encontra facilmente disponível. Desse modo os OEs estão cada vez mais sendo empregados na formulação de produtos ou sendo incorporados em embalagens. Com o objetivo de facilitar a incorporação de OEs nos alimentos, processos como a encapsulação ou nanoemulsões são uma alternativa para a indústria, já que ajudam a aumentar a vida útil e a biodisponibilidade dos compostos bioativos. Além disso, o método de incorporar OEs em embalagens oferece propriedades antimicrobianas e antioxidantes sem que seja necessário a adição do OE diretamente no alimento (PRAKASH *et al.*, 2018; HADIDI *et al.*, 2020).

Nas pesquisas reunidas para esse trabalho houve o estudo de diferentes produtos e técnicas como:

- Caldas
- Filmes inseticidas para embalagens à base de pectina e OE

- Nanocápsulas
- Nanoemulsões
- Sacos de pano tratados com OE
- Silo bag biopesticida composto por filme coextrusado de três camadas feito de polietileno e OE.

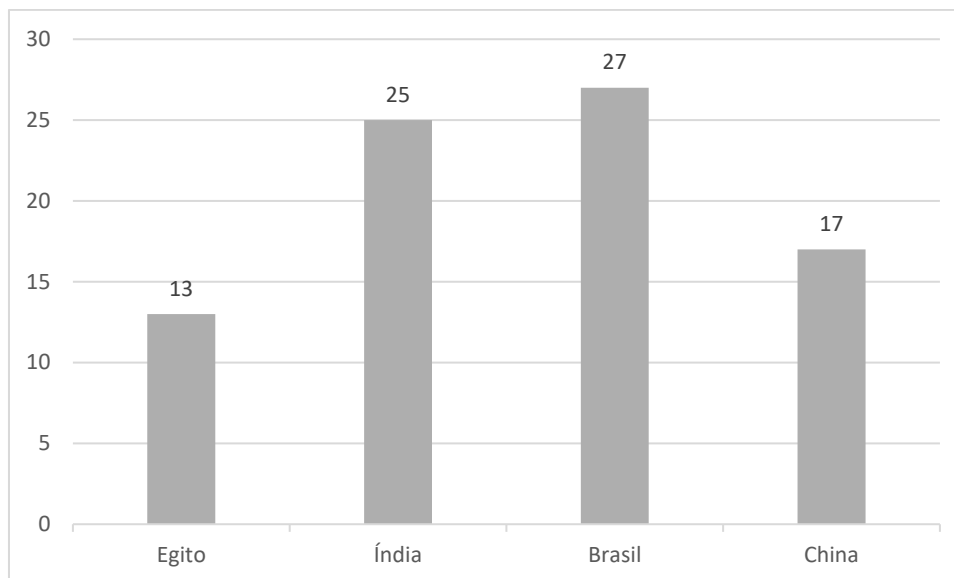
Entre os estudos, ALZAHRAA *et al.* (2023) concluíram que a impregnação de OEs de alho (*Allium sativum* L.) e salsa (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss) nos diferentes tipos de sacos de armazenamento mencionados no estudo ofereceram proteção contra insetos armazenados, indicando que poderia ser considerada como uma ferramenta adicional ao conceito de gestão de produtos armazenados. Enquanto IBRAHIM (2022) observaram que nanocápsulas contendo OE de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry) são mais estáveis, bem dispersas e possuem alta eficiência de aprisionamento, indicando maior toxicidade contra *Rhyzopertha dominica* em comparação ao OE de cravo livre.

O desenvolvimento de nanoemulsões de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) e cominho preto (*Nigella sativa* L.) foi estudada por ALI S.A. *et al.*, (2022), onde concluíram que as nanoemulsões testadas no gorgulho-do-celeiro, *Sitophilus granarius* (L.) possuem atividade inseticida superior à dos OEs em sua forma bruta. Além disso, revelaram que o tamanho das gotas e a composição química das nanoemulsões foram fatores significativos para a ação tóxica neste inseto-praga, mostrando eficácia toxicológica superior sem quaisquer efeitos na germinação das sementes em comparação com seus óleos nativos. Concluindo, desse modo, que tais nanoformulações podem ser utilizadas em vez de inseticidas químicos, podendo abrir um novo caminho para um controle mais ecológico de pragas, que não seja prejudicial aos seres humanos ou ao ambiente.

4.3 Países

Os estudos selecionados para essa revisão foram desenvolvidos em trinta e três países em várias regiões do mundo. Os principais países por número de estudos estão detalhados a seguir na figura 3.

Figura 3 – Quantidade de estudos dos principais países, envolvidos em pesquisas com a aplicação de óleos essenciais na conservação de grãos armazenados.



Legenda: Estudos relacionados aos OE por países, evidenciando os líderes em pesquisa nesta área.
Fonte: Do autor (2024).

4.4 Plantas mais estudadas

4.4.1 Principais famílias e espécies estudadas

A Tabela 2 apresenta dados sobre as principais famílias das plantas estudadas, incluindo as espécies pesquisadas e os números de estudos:

Tabela 2 - Espécies botânicas exploradas em estudos científicos que empregaram óleos essenciais na conservação de grãos armazenados.

(Continua)

Família	Espécie	Número de Estudos
Acoraceae	<i>Acorus calamus</i> L.	5
Amaranthaceae	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	2
Amaryllidaceae	<i>Allium sativum</i> L.	6
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i> L.	1
	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	1
Annonaceae	<i>Cananga odorata</i> (Lam.) Hook.f. & Thomson	1
Apocynaceae	<i>Calotropis procera</i> Ait.	1
	<i>Mondia whitei</i> (Hook.f.) Skeels	1
Apiaceae	<i>Anethum graveolens</i> L.	2
	<i>Cuminum cyminum</i> L.	3
	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	3
	<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss	2

Tabela 2 - Espécies botânicas exploradas em estudos científicos que empregaram óleos essenciais na conservação de grãos armazenados.

(Continuação)

Família	Espécie	Número de Estudos
Araliaceae	<i>Schefflera actinophylla</i> (Endl.) Harms	1
Asteraceae	<i>Artemisia annua</i> L.	1
	<i>Artemisia maritima</i> L.	1
	<i>Artemisia vestita</i> Wall.	1
	<i>Artemisia vulgaris</i> L.	2
	<i>Carlina acaulis</i> L.	2
	<i>Conyza sumatrensis</i> (Retz.) E. Walker	1
	<i>Echinacea purpurea</i> (L.) Moench	1
	<i>Erigeron canadensis</i> L.	1
	<i>Porophyllum linaria</i> (Cav.) DC.	2
	<i>Tagetes minuta</i> L.	2
	<i>Wedelia trilobata</i> (L.) Hitchc.	1
Betulaceae	<i>Betula lenta</i> L.	1
Brassicaceae	<i>Brassica juncea</i> (L.) Czern	1
	<i>Brassica napus</i> L.	1
	<i>Lobularia maritima</i> (L.) Desv.	1
Cannabaceae	<i>Humulus lupulus</i> L.	1
Cupressaceae	<i>Chamaecyparis obtusa</i> (Siebold & Zucc.) Endl.	1
	<i>Juniperus communis</i> L.	1
	<i>Juniperus recurva</i> Buch.-Ham. ex D. Don	1
Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	1
	<i>Croton rudolphianus</i> Müll. Arg.	1
	<i>Jatropha curcas</i> L.	1
	<i>Ricinus communis</i> L.	1
Geraniaceae	<i>Pelargonium graveolens</i> (Thunb.) L'Hér.	1
	<i>Pelargonium roseum</i> Willd.	1
Hernandiaceae	<i>Hazomalania voyronii</i> (Jum.) Capuron	2
Lauraceae	<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) J. Presl	1
	<i>Cinnamomum cassia</i> (L.) J. Presl	1
	<i>Cinnamomum verum</i> J. Presl	1
	<i>Laurus nobilis</i> L.	2
	<i>Litsea cubeba</i> (Lour.) Pers.	1
Lamiaceae	<i>Agastache mexicana</i> (Kunth) Lint & Epling	1
	<i>Clerodendrum multiflorum</i> (Burm.f.) Kuntze	1
	<i>Clerodendrum viscosum</i> Vent.	1
	<i>Clerodendrum bungei bungei</i> Steud.	1

Tabela 2 - Espécies botânicas exploradas em estudos científicos que empregaram óleos essenciais na conservação de grãos armazenados.

(Continuação)

Família	Espécie	Número de Estudos
	<i>Lavandula angustifolia</i> Mill	2
	<i>Lavandula x intermedia</i> Emeric ex Loisel.	1
	<i>Mentha longifolia</i> L.	2
	<i>Mentha piperita</i> L.	3
	<i>Mentha rotundifolia</i> L.	1
	<i>Mentha spicata</i> L.	4
	<i>Ocimum basilicum</i> L.	6
	<i>Ocimum gratissimum</i> L.	3
	<i>Ocimum tenuiflorum</i> L.	2
	<i>Origanum vulgare</i> L.	6
	<i>Perilla frutescens</i> (L.) Britton	1
	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	8
	<i>Satureja</i> L.	3
	<i>Thymus vulgaris</i> L.	5
Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	3
Myrtaceae	<i>Callistemon lanceolatus</i> Sm.	1
	<i>Eucalyptus</i> sp.	7
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn.	2
	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	2
	<i>Eucalyptus oleosa</i> F. Muell	1
	<i>Eucalyptus resinifera</i> Sm.	1
	<i>Eugenia sulcata</i> Spring ex Mart.	1
	<i>Melaleuca alternifolia</i> (Maiden & Betche) Cheel	1
	<i>Melaleuca cajuputi</i> Powell	1
	<i>Melaleuca quinquenervia</i> (Cav.) S.T.Blake	1
	<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. & L.M.Perry	8
Papaveraceae	<i>Argemone mexicana</i> L.	1
Pinaceae	<i>Cedrus deodara</i> (Lamb.) G.Don	1
	<i>Cupressus sempervirens</i> L.	3
	<i>Pinus wallichiana</i> A.B.Jacks.	1
Piperaceae	<i>Piper aduncum</i> L.	2
	<i>Piper boehmeriifolium</i> (Wall. ex Miq.) C.DC.	1
	<i>Piper callosum</i> Ruiz & Pav.	1
	<i>Piper corcovadensis</i> (Miq.) C.DC.	1
	<i>Piper marginatum</i> Jacq.	1
	<i>Piper nigrum</i> L.	5
	<i>Piper retrofractum</i> Vahl	1
	<i>Piper yunnanense</i> Y.C.Tseng	1

Tabela 2 - Espécies botânicas exploradas em estudos científicos que empregaram óleos essenciais na conservação de grãos armazenados.

(Conclusão)

Família	Espécie	Número de Estudos
Poaceae	<i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf	12
	<i>Cymbopogon martinii</i> (Roxb.) J.F.Watson	1
Rutaceae	<i>Citrus hystrix</i> DC.	1
	<i>Citrus x jambhiri</i> Lush.	1
	<i>Citrus x sinensis</i> (L.) Osbeck	2
	<i>Citrus x limonum</i> Risso	1
	<i>Citrus x aurantium</i> L.	3
	<i>Zanthoxylum monophyllum</i> (Lam.) P.Wilson	1
	<i>Zanthoxylum myriacanthum</i> Wall. ex Hook.fil.	1
Schisandraceae	<i>Illicium verum</i> Hook.fil.	1
Solanaceae	<i>Capsicum annuum</i> L.	1
	<i>Datura metel</i> L.	1
	<i>Withania somnifera</i> (L.) Dunal	2
Verbenaceae	<i>Lantana camara</i> L.	2
	<i>Lippia alba</i> (Mill.) N.E.Br. ex Britton & P.Wilson	1
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i> L.	1
Zingiberaceae	<i>Alpinia zerumbet</i> (Pers.) B.L.Burt & R.M.Sm.	1
	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe	1
Zygophyllaceae	<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Delile	1

Fonte: Do Autor (2024).

4.4.2 Principais espécies estudadas

Algumas plantas têm sido particularmente destacadas em pesquisas devido às suas propriedades únicas e à ampla gama de aplicações. A seguir, estão listadas as plantas mais estudadas que se destacam não apenas pelo número de estudos realizados, mas também pela diversidade de aplicações que seus OEs podem oferecer. A pesquisa contínua nesses OEs prometem avanços significativos na criação de produtos naturais e eficazes para uma variedade de indústrias.

4.4.2.1 *Eucalyptus*

No geral, o gênero *Eucalyptus* foi o mais pesquisado, com estudos de diferentes espécies como observado na tabela 2, contabilizando 13 estudos. As folhas dessas árvores são conhecidas por produzir OEs com fortes propriedades antimicrobianas, antifúngicas, anti-inflamatórias e antioxidante (ELGAT *et al.*, 2020). Esses OEs são amplamente utilizados na medicina tradicional e na indústria farmacêutica (CARDOSO *et al.*, 2019).

O OE de *Eucalyptus*, rico em compostos bioativos como o terpenóide 1,8-cineol, possui propriedades inseticidas eficazes contra determinadas pragas de grãos armazenados. Como concluído por FILOMENO *et al.* (2020), os OEs de *Eucalyptus resinifera* Sm. (Myrtaceae) possuindo o 1,8-cineol (59,3%), o *p*-cimeno (12,9%) e α -pineno (9,7%) como componentes principais, representaram um potencial inseticida contra *R. dominica* nos bioensaios de contato e fumigação. Desse modo sua aplicação pode atuar reduzindo infestações de pragas, além de ser seguro para a saúde humana e sustentável, já que o OE foi capaz de oferecer uma solução eficaz sem os efeitos negativos dos pesticidas sintéticos. Porém LABDELLI *et al.* (2022) mostraram que embora o eucalipto seja uma planta de grande valor medicinal devido à presença de metabólitos secundários, ela reage de maneira diferente de acordo com a espécie da praga e o método de aplicação. Através de seu estudo concluíram que o gorgulho *Sitophilus oryzae* foi mais sensível ao biopesticida do que o caruncho *Sitophilus granarius*. Havendo uma maior e mais rápida mortalidade pelo método de ingestão se comparada ao método de inalação.

4.4.2.2 *Cymbopogon flexuosus* / *Cymbopogon citratus* (Capim-limão)

O Capim-limão nome popular para as espécies *Cymbopogon citratus* e *Cymbopogon flexuosus*, somaram 12 estudos. Altamente valorizado por sua significativa atividade antimicrobiana, demonstra uma ampla capacidade de inibir microrganismos patogênicos e deteriorantes (BOUKHATEM *et al.*, 2014; REYES-JURADO *et al.*, 2019). Além disso, ele apresenta notáveis propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e um potencial terapêutico promissor (OLADEJI *et al.*, 2019).

O uso do OE do capim-limão contra pragas de grãos armazenados é baseado em diversas hipóteses fundamentadas em suas propriedades químicas e atividades biológicas. Entre os trabalhos selecionados para essa revisão, ALVES *et al.* (2023) em sua pesquisa confirmaram a

ação do OE de *Cymbopogon citratus* sobre o metabolismo do inseto alvo (gorgulho do feijão-caupi). Além disso, os resultados mostraram que o revestimento do grão com o OE garantiu um teor de citral em sua superfície, proporcionando proteção a partir de 30 e 90 dias após o tratamento da semente, sem impactar no seu poder germinativo. O mesmo trabalho ainda mostrou que o OE de *C. citratus* também apresentou atividade tóxica contra fungos fitopatogênicos, confirmando o seu potencial para proteger grãos e sementes de feijão-caupi contra insetos e fungos fitopatogênicos. Do mesmo modo, MOTA *et al.* (2022) comprovou o potencial do OE de *C. flexuosus* e do citral, seu composto majoritário, que apresentaram uma melhor atividade inseticida e repelente que o inseticida comercial Actellic® para o controle de *Sitophilus zeamais*, uma praga da cultura do milho em armazenamento de grande importância. Essas propriedades combinadas fazem do OE de capim-limão uma alternativa natural para o controle de pragas no armazenamento de grãos.

4.4.2.3 *Rosmarinus officinalis* (Alecrim)

O *Rosmarinus officinalis*, ou alecrim, foi estudado em 8 trabalhos. O OE de alecrim possui diversas propriedades terapêuticas que incluem atividades antisséptica, antifúngica, inseticida, antioxidante, adstringente, antimicrobiana, anti-inflamatória e antitumoral (WOLFFENBUTTEL, 2010; HUSSAIN *et al.*, 2014). As diversas propriedades do OE de alecrim fundamentam o desenvolvimento de diversos produtos e a sua aplicação em diferentes áreas. Segundo SPRÉA *et al.* (2024), o OE de *Rosmarinus officinalis*, por suas interessantes bioatividades, apresenta potencial como conservantes naturais e agentes bioativos em diversas aplicações industriais, entre elas, a indústria de alimentos, de produtos farmacêuticos e cosméticos.

O OE de *Rosmarinus officinalis* apresenta potenciais propriedades contra pragas de grãos armazenados devido à sua composição química complexa. Componentes presentes como o α -pineno e o 1,8-cineol demonstram diversas atividades. CABALLERO-GALLARDO *et al.* (2021), por exemplo, concluíram através de sua pesquisa que o OE de alecrim demonstrou 100% de repelência na concentração mais alta testada. Assim como, a exposição de insetos adultos a concentrações subletais do OE inibiu significativamente a oviposição. Sendo assim, sugeriram que possivelmente, devido a diferentes mecanismos de toxicidade, o OE de Alecrim pode ser um candidato bastante útil para formulações utilizadas no manejo e controle de pragas em produtos armazenados.

Ainda MRAVLJE *et al.* (2022) testaram o hidrossol, um subproduto a base de OE de *Rosmarinus officinalis* em grãos de trigo-sarraceno, onde observaram que os fungos do gênero *Fusarium* foram os mais suscetíveis, devido a inibição do crescimento em todas as espécies testadas. Como não houve efeito inibitório na germinação dos grãos após a exposição ao hidrossol de alecrim, ele foi considerado como uma alternativa potencialmente ecológica para suprimir o crescimento de fungos nos grãos.

4.4.2.4 *Syzygium aromaticum* (Cravo-da-índia)

Syzygium aromaticum, ou cravo-da-índia, foi estudado em 8 trabalhos devido às suas potentes propriedades. O OE de cravo é fundamental para a indústria alimentícia, graças às suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes, que permitem seu uso como substituto de conservantes sintéticos. Além disso, o eugenol, principal componente presente, assim como seus derivados, são amplamente utilizados (SCOPEL *et al.*, 2014; LEE; SHIBAMOTO, 2001).

O OE de *Syzygium aromaticum*, popularmente conhecido como cravo-da-índia, tem despertado interesse no combate às pragas que afetam os grãos armazenados, devido às suas propriedades inseticidas naturais. A principal hipótese é que os componentes ativos presentes no OE, como o eugenol, apresentam ação repelente e letal contra diversos tipos de insetos, além de possuir propriedades antifúngicas que auxiliam na prevenção do crescimento de fungos nos grãos armazenados.

Nos resultados de seus estudos, ELBRENSE *et al.* (2022) indicaram que os OEs testados comprovaram atividades inseticidas, antialimentares e repelentes contra os adultos de insetos da espécie *Tribolium castaneum* (Herbst), sendo que o OE de cravo apresentou maior eficácia inseticida. Além disso, afirmaram seu baixo efeito citotóxico comprovando que o OE de *Syzygium aromaticum* pode ser considerado uma alternativa eficaz e promissora para controlar pragas com perfis de biossegurança.

SOUSA *et al.* (2023) concluíram que o OE de cravo em combinação com o OE de poejo, quando testada em grãos de milho infestados por *S. zeamais*, reduziram as perdas em mais de 45% durante um longo período de armazenamento, diminuindo a capacidade de sobrevivência dos gorgulhos do milho em mais de 90%. Portanto, a utilização do OE de *Syzygium aromaticum* surge como uma alternativa promissora aos pesticidas sintéticos, proporcionando uma abordagem natural e ecologicamente segura para o controle de pragas em sistemas de armazenamento de grãos.

4.4.2.5 *Ocimum basilicum* (Manjericão)

O *Ocimum basilicum*, conhecido como manjericão, aparece em 6 estudos. Pertencente à família Lamiaceae, é uma importante fonte de OEs e é utilizado na medicina popular em diversos países para tratar várias doenças (ZHAKIPBEKOV *et al.*, 2024). Diversos estudos indicaram que os principais componentes do OE de *O. basilicum* são o linalol, o eugenol e o geraniol, os quais apresentaram uma variedade de atividades farmacológicas, incluindo propriedades bactericidas, fungicidas, antiparasitárias e antinociceptivas (OZCAN; CHALCHAT, 2002; KÉITA *et al.*, 2001; GOVIN *et al.*, 2000; VENANCIO, 2006). Além disso o OE de *O. basilicum* tem se destacado na agricultura devido às suas propriedades antimicrobianas, inseticidas e repelentes, sendo muito útil em operações curativas e preventivas, bem como na conservação de grãos (FERNANDES *et al.*, 2004).

O OE de *Ocimum basilicum*, apresenta potencial para aplicação contra pragas de grãos armazenados devido às suas propriedades inseticidas naturais. Hipoteticamente, suas características químicas, como compostos voláteis como o linalol e o estragol, podem interferir nos processos fisiológicos dos insetos, levando à sua mortalidade. Em uma pesquisa onde foi explorado o potencial inseticida do OE de manjericão contra *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae), BINCY *et al.* (2023) relataram sua toxicidade fumigante. Em vista disso, o OE de *O. basilicum* apresentou eficácia inseticida sobre *S. oryzae*, concluindo a partir de seus resultados seu promissor uso para o controle de insetos-pragas de grãos armazenados.

Assim como os autores anteriores, MOURA *et al.* (2021), através da sua pesquisa, também chegaram à conclusão que o OE de *O. basilicum* e seus principais componentes apresentam potencial inseticida contra adultos de *Sitophilus zeamais*. Sendo assim, a aplicação do OE de manjericão pode representar uma alternativa natural e sustentável no controle de pragas de grãos armazenados.

4.4.2.6 *Origanum vulgare* (Orégano)

Origanum vulgare, ou orégano, também foi objeto de 6 estudos. Originário da região do Mediterrâneo, é amplamente empregado tanto na culinária quanto devido às suas propriedades medicinais (SKOUFOGIANNI; SOLOMOU E DANALATOS, 2019). Estudos indicaram que o OE de *Origanum vulgare* apresenta propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes,

antiespasmódicas, antimicrobianas e antifúngicas (KRÓL *et al.*, 2019). Os compostos fenólicos são os principais responsáveis pelas atividades antimicrobiana e antioxidante. Entre seus compostos ativos mais importantes estão o carvacrol e o timol (SOUZA; STAMFORD; LIMA, 2006; BURT, 2004). O timol tem uma forte ação inibitória contra várias bactérias, além de leveduras. Já o carvacrol é eficaz contra fungos e bactérias patogênicas (GAYSINSKY, 2007; CARMO; LIMA; SOUZA, 2008).

O OE de *Origanum vulgare* apresenta potencial como agente de controle de pragas em grãos armazenados devido às suas propriedades. DUAN *et al.* (2024) investigaram os efeitos antifúngicos de compostos voláteis de OEs extraídos de *Origanum vulgare* L. contra o crescimento de *Aspergillus flavus* (Link, 1809). No estudo observaram que a fumigação com carvacrol, identificado como o principal constituinte volátil do OE de *Origanum vulgare* L., poderia inibir completamente a proliferação de *A. flavus* em grãos de trigo com 20% de umidade, mostrando seu potencial como biofumigante durante o armazenamento pós-colheita de grãos. Ainda COSTA-BECHELENI *et al.* (2020), com o objetivo de encontrar alternativas naturais para o controle do gorgulho *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), exploraram o efeito de alguns OEs, entre eles o OE de *Origanum vulgare*, sobre a mortalidade, emergência e repelência de *S. zeamais*, bem como seu efeito na qualidade dos grãos de milho durante o armazenamento (germinação e capacidade antioxidante, por exemplo). O OE de orégano apresentou 100% de atividade inseticida, enquanto a emergência de insetos adultos (F1) foi nula, observando também forte potencial repelente. O OE demonstrou alta capacidade de inibição antioxidante e a germinação do grão não foi afetada. Desse modo, concluíram que o OE de *Origanum vulgare* apresentou potencial para o controle de *S. zeamais*, melhorando a qualidade do grão de milho.

4.4.2.7 *Allium sativum* (Alho)

O *Allium sativum*, ou alho, foi objeto de estudo em 6 pesquisas. Conhecida por seus numerosos benefícios para a saúde é uma especiaria amplamente utilizada. Os benefícios são atribuídos aos compostos bioativos presentes no alho, como sulfetos orgânicos, saponinas, compostos fenólicos e polissacarídeos. Além disso, o alho possui propriedades antibacterianas, antifúngicas, antivirais e antiparasitários (JOHNSON; OLALEYE; KOLAWOLE, 2016)

O OE de *Allium sativum* é composto por uma diversidade de fitoquímicos. Entre eles, destaca-se a alicina, o principal componente do alho e principal responsável pela grande parte

de suas propriedades farmacológicas, que incluem ação antioxidante e antimicrobiana contra uma variedade de microrganismos, como bactérias, vírus e fungos (SOUZA, 2019).

ELBEHERY E IBRAHIM (2024) investigaram a toxicidade fumigante do OE de *Allium sativum* contra mariposas adultas de *Sitotroga cerealella* (Oliver 1789) e o parasitóide de ovos *Trichogramma evanescens* (Westwood, 1833). Os resultados mostraram que o OE de *A. sativum* resultou em 100% de mortalidade de insetos após 24 horas de exposição, já a emergência de adultos parasitóides na F1, assim como o seu parasitismo, foi pouco reduzido. Portanto, *A. sativum* tem potencial para ser usado como biofumigantes para o manejo de *S. cerealella* e pode ser usado juntamente com *T. evanescens* no manejo integrado de pragas. SILEEM, MEHANY E HASSAN (2020) também confirmaram o potencial do OE de alho em seu trabalho contra os estágios adulto e larval de *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae), atestando o seu efeito de toxicidade através da fumigação. Concluíram assim que o OE de *A. sativum* é um fumigante com boa eficácia no controle de *T. castaneum* nos produtos armazenados. Afirmando que o OE tem potencial para aplicações em programas de MIP para pragas de grãos armazenados devido à sua alta volatilidade, atividade fumigante e à sua segurança.

4.4.2.8 *Thymus vulgaris* (Tomilho)

O *Thymus vulgaris*, ou tomilho, foi estudado em 5 trabalhos. Na medicina tradicional, o tomilho é muito utilizado em chás e infusões devido aos compostos bioativos presentes, incluindo os constituintes do OE de tomilho, como flavonoides, ácidos fenólicos, timol e carvacrol. Esses compostos demonstram atividades antioxidante, antimicrobiana, expectorante, entre outras. Pesquisas indicam que alguns compostos fenólicos presentes no OE de tomilho interagem com radicais livres e inibem a peroxidação lipídica nos alimentos (KHAZDAIR *et al.*, 2018).

O OE de *Thymus vulgaris* tem sido estudado no controle de pragas em grãos armazenados devido às suas propriedades antimicrobianas e inseticidas. GHOORCHIAN, RAHMANI E WEISANY (2023) através de sua pesquisa, investigaram a toxicidade por fumigação do OE de *Thymus vulgaris* contra fêmeas adultas de *Sitotroga cerealella* (Olivier). O tratamento impactou significativamente a oviposição, a eclodibilidade dos ovos e a taxa de sobrevivência das larvas-pupas, levando à diminuição dos valores desses parâmetros. O OE demonstrou um grande potencial no manejo de *S. cerealella*, onde a sua toxicidade por

fumigação e os efeitos subletais nas fêmeas adultas confirmaram a sua eficácia como ferramentas sustentáveis no âmbito de estratégias para o controle de pragas em produtos armazenados.

4.5 Principais compostos bioativos

Do ponto de vista químico, os OEs são compostos por diversos componentes, que variam em proporção e concentração. Em geral, são caracterizados por dois a três componentes principais que estão presentes em concentrações relativamente elevadas (10-90%) em relação aos outros compostos que aparecem em menores quantidades. Estes componentes principais são os responsáveis pelas diversas atividades biológicas dos OEs (FALLEH *et al.*, 2020; BHAVANIRAMYA *et al.*, 2019).

De forma geral, são constituídos de uma mistura complexa de compostos poucos solúveis em água, sobretudo por compostos terpênicos e fenilpropanóide. Os terpenos são compostos orgânicos formados pela união de unidades de isopreno, que consistem basicamente de uma estrutura pentacarbonada. A classificação dos terpenos é baseada no número de unidades de isopreno presentes na molécula, podendo ser classificados em: monoterpenos (10 átomos de carbono), sesquiterpenos (15 átomos de carbono) e diterpenos (20 átomos de carbono). Já os fenilpropanóides possuem como característica molecular um anel fenila ligado a uma cadeia lateral com três átomos de carbono (ALMEIDA *et al.*, 2015; RIBEIRO-SANTOS *et al.*, 2018; STEVANOVIĆ *et al.*, 2018).

Muitos compostos foram objetos de estudos nas pesquisas selecionadas para composição desse trabalho, abaixo seguem os principais compostos estudados, que se destacaram pelo número de estudos e por apresentarem diversas propriedades comprovadas no controle de pragas em grãos armazenados:

4.5.1 Limoneno

O limoneno é um monoterpeno que esteve presente em 19 estudos. Se destaca como o mais importante composto majoritário na composição química dos OEs de frutas cítricas (CIRIMINNA *et al.*, 2014). Tem odor semelhante ao de limão e é amplamente utilizado como aditivo de sabor e fragrância em sucos, doces, refrigerantes e sorvetes (VIEIRA *et al.*, 2018). Possui atividade inseticida onde é usado em vários produtos pesticidas como repelente de

insetos e para controle de pulgas e carrapatos em animais de estimação (UMAGILIYAGE *et al.*, 2017; FENG *et al.*, 2020). Além disso, é conhecido por suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas, antifúngicas e anticancerígenas (BEVILACQUA; CORBO E SINIGAGLIA, 2010).

MUHAMMAD *et al.* (2022), objetivaram identificar pesticidas naturais de origem vegetal para controlar o inseto *Tribolium castaneum* e o fungo *Aspergillus flavus*, importantes pragas de grãos armazenados. Os OEs extraídos de partes aéreas frescas de plantas como *Conyza sumatrensis* (Retz.) E.Walker e *Erigeron canadensis* L., apresentaram em sua composição a presença de 21,6% e 43,4 % de limoneno, respectivamente. Em bioensaios com grãos tratados e com fumigação, OEs de *C. sumatrensis* e *E. canadensis* exibiram excelente toxicidade contra *T. castaneum*. Os OEs também exibiram boa atividade antifúngica contra *A. flavus*. Diante disso sugeriram que os OEs testados podem desempenhar um papel importante na proteção de grãos armazenados contra contaminação por *T. castaneum* e *A. flavus*.

4.5.2 Citral

O citral (3,7-dimetil-2,6-octadienal) esteve presente em 13 estudos. É um monoterpene que ocorre naturalmente em ervas, plantas e frutas cítricas (WEERAWATANAKORN *et al.*, 2015). É utilizado nas indústrias de perfumaria e alimentícia tanto como ingrediente de fragrâncias quanto como intensificador de sabor (SURBURG; PANTEN, 2016). Pesquisas indicam que este composto possui propriedades antiparasitárias, antibacterianas, antioxidantes e anti-inflamatórias (ATOLANI, 2019). Além disso, estudos *in vitro* revelaram o seu potencial anticancerígeno (EGBUNA, 2018).

LEE *et al.* (2021), objetivaram avaliar a eficácia do OE de *Cymbopogon flexuosus* (capim-limão) no controle de *Aspergillus brasiliensis*. Testes foram realizados em diferentes concentrações do OE e citral, principal composto que correspondeu a 72% da composição total do óleo. Foi avaliada a inibição do crescimento fúngico em grãos de trigo contaminados, onde concluíram que o OE e seu composto majoritário, citral, apresentaram atividade fungicida contra o fungo *Aspergillus brasiliensis*.

4.5.3 Linalol

Presente em 13 estudos, o linalol é um monoterpeneo que ocorre em diversos OEs, possui múltiplos efeitos biológicos, incluindo propriedades antibacterianas, anti-inflamatórias, anticancerígenas e antioxidantes (DJENANE *et al.*, 2012). Exibe atividade antimicrobiana contra uma variedade de microrganismos, mostrando uma eficácia particularmente notável contra bactérias Gram-positivas em comparação com Gram-negativas (QUINTANS-JUNIOR *et al.*, 2013; PHILLIPS *et al.*, 2012).

AKINBULUMA *et al.* (2021), conduziram um estudo para avaliar a eficácia do linalol contra *Sitophilus oryzae*. Os tratamentos foram avaliados em grãos de arroz infestados, apresentando alta repelência e 79,72% de mortalidade. Concluíram assim, que o uso de linalol pode ser incluído no Manejo Integrado de Pragas de *Sitophilus oryzae*, reduzindo assim os problemas causados por inseticidas sintéticos à saúde humana e ambiental.

4.5.4 Eugenol

O eugenol (4-alil-2-metoxifenol), presente em 12 estudos é um fenilpropanóide derivado principalmente do OE de cravo, além de estar presente em outros OEs. É um componente fenólico aromático com diversas vantagens biológicas, incluindo propriedades anticarcinogênicas, antibacterianas, antifúngicas, inseticidas e anti-inflamatórias (ULANOWSKA E OLAS, 2021; LIU *et al.*, 2021). Devido as suas propriedades, o eugenol vem sendo amplamente utilizado no setor alimentício, cosmético e odontológico (NISAR *et al.*, 2021).

ET-TAZY *et al.* (2023), em seu estudo, exploraram as propriedades antifúngicas e antioxidantes dos OEs derivados de quatro plantas: *Rosmarinus officinalis*, *Myrtus communis*, *Origanum compactum* e *Eugenia aromatica*. A atividade antifúngica foi testada contra quatro patógenos pós-colheita associados ao grão-de-bico em armazenamento: *Fusarium culmorum*, *Rhizopus oryzae*, *Penicillium italicum* e *Aspergillus niger*. De acordo com os resultados, o OE de *E. aromatica* apresentou maior atividade antioxidante e antifúngica. A alta concentração de eugenol neste óleo foi identificada como um fator que contribuiu para seus potentes efeitos antifúngicos. A aplicação individual de eugenol também apresentou eficácia antifúngica, concluindo que o eugenol tem potencial para o desenvolvimento de formulações específicas destinadas a otimizar a proteção de grãos em armazenamento.

4.5.5 α -Pino

Os pinos apareceram em 11 estudos. São monoterpenos encontrados em vários OEs frequentemente como os principais componentes. Esses fitoconstituintes têm atraído o interesse em estudos científicos devido ao seu potencial efeito anti-inflamatório, antitumoral e antimicrobiano (MATSUO *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2012; NAM *et al.*, 2014). Esses compostos ocorrem como isômeros ópticos, com o α -pino e o β -pino sendo os dois isômeros ativos. Essa mistura racêmica pode ser encontrada em alguns OEs, como o de eucalipto (DA SILVA *et al.*, 2014). Além disso, o α -pino é utilizado em vários processos industriais (TURKEZ; AYDIN, 2013). Estudos anteriores atribuíram ao α -pino diversas propriedades biológicas, incluindo atividades antimicrobiana (DHAR *et al.*, 2014), anti-inflamatória (RUFINO *et al.*, 2014), antialérgica (NAM *et al.*, 2014) e antioxidante (MIGUEL, 2010).

ALMADIY *et al.* (2023), exploraram o potencial do OE de *Cupressus sempervirens var. horizontalis* (Mill.) cujo componente majoritário é o α -pino (46,3%). O OE, sua nanoemulsão e seus terpenos exibiram atividades inseticidas e repelentes contra o gorgulho do arroz, *Sitophilus oryzae*. Em um bioensaio de contato e através da fumigação, a nanoemulsão induziu uma taxa de mortalidade de adultos em 100%. Concluindo assim, que o OE de *C. sempervirens* e sua nanoemulsão forneceram proteção de grãos contra *S. oryzae*.

4.5.6 1,8-Cineol

O composto monoterpênico oxigenado 1,8-cineol, também conhecido como eucaliptol, possui aroma agradável e refrescante. Esteve presente em 10 estudos e está normalmente presente em OEs de plantas (MANDE; SEKAR, 2021). Numerosos estudos demonstraram que o 1,8-cineol possui potentes propriedades antimicrobianas contra uma ampla gama de microrganismos, incluindo bactérias Gram-positivas e Gram-negativas (YUAN *et al.*, 2022). Além de suas propriedades antibacterianas, o 1,8-cineol também demonstrou possuir propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes e analgésicas. Essas propriedades o tornam um componente valioso em vários produtos farmacêuticos, cosméticos e alimentícios (HOCH *et al.*, 2023).

RAMACHANDRAN, BASKAR E JAYAKUMAR (2022), objetivaram avaliar a atividade pesticida do OE de *Callistemon citrinus* (Curtis) Skeels contra *Tribolium castaneum*.

A análise do OE de *C. citrinus* mostrou que o principal constituinte foi o eucaliptol (1,8-cineol) a 40,44%. A exposição ao OE de *C. citrinus* reduziu significativamente a fecundidade do besouro, assim como, a atividade ovicida, a eclodibilidade dos ovos, a sobrevivência das larvas e a emergência do adulto também sofreram redução. Desse modo, OE teve efeitos tóxicos em todos os estágios da vida de *T. castaneum*.

4.5.7 Estragol

O estragol (metil chavicol) esteve presente em 9 estudos. Trata-se de um fenilpropanoide encontrado em diferentes plantas, entre elas, especialmente o manjeriço (*Ocimum basilicum*). Com vários usos medicinais, possui diversas atividades biológicas, incluindo propriedade antioxidante, anti-inflamatória, antibacteriana e propriedades antivirais (MAHENDRA *et al.*, 2023). Amplamente utilizado na indústria de alimentos e bebidas (DA COSTA *et al.*, 2021), o estragol possui atividade antimicrobiana contra uma variedade de bactérias patogênicas de origem alimentar (DEDE *et al.*, 2022). Além disso, foi demonstrado a sua eficácia contra uma variedade de infecções fúngicas, incluindo *Aspergillus flavus* (ABOU EL-SOUD *et al.*, 2015); *Candida albicans* (Berkhout, 1923) e *Aspergillus niger* (van Tieghem, 1867) (BADEA *et al.*, 2015) e *Penicillium nalgiovense* (Laxa, O. 1932) (SAGGIORATO *et al.*, 2012). Ainda segundo MAHENDRA *et al.* (2023), o estragol tem sido amplamente utilizado em vários produtos tanto para necessidades humanas quanto animais, mas seu uso direto precisa ser levado em consideração devido aos efeitos da toxicidade e carcinogenicidade, portanto, pesquisas mais detalhadas são necessárias para entender a segurança no seu uso.

BINCY *et al.* (2023), através do seu estudo, relataram a toxicidade de contato e fumigante do OE de *Ocimum basilicum* (Lamiaceae), contra *S. oryzae*. A análise do OE, mostrou a presença de estragol (85,08%) como constituinte principal. O OE de *O. basilicum* mostrou eficácia inseticida contra *S. oryzae* como um bom fumigante e apresentou toxicidade de contato em 48 h de exposição. Desse modo, os resultados sugeriram que OE de *O. basilicum*, com maior quantidade de estragol, pode ser um tóxico promissor para o controle de pragas de insetos em grãos armazenados.

4.5.8 Terpeneol

O terpineol esteve presente em 7 estudos. Apresenta-se em diferentes formas isoméricas (α -, β -, γ -terpineol, e terpinen-4-ol). Cada um possui diferentes propriedades, sendo o α -terpineol o mais estudado.

O α -terpineol é um monoterpeneo oxigenado com uma fragrância agradável, presente em vários OEs. Ele é extensivamente utilizado na perfumaria, compondo sabonetes e cosméticos, além de ser empregado na fabricação de produtos de limpeza, como repelente de insetos (ANSARIA *et al.*, 2005). Além disso, numerosos estudos já foram realizados para explorar suas propriedades, tais como atividades antibacterianas, anticonvulsivantes, anticancerígenas, inseticidas, anti-inflamatórias e antinociceptivas, bem como na conservação de carnes e produtos cárneos (DE OLIVEIRA *et al.*, 2012; DE SOUSA; QUINTANS; DE ALMEIDA *et al.*, 2007; HASSAN *et al.*, 2010; HUSSEIN *et al.*, 2021).

BABARINDE *et al.* (2021), através do seu experimento, avaliaram a composição química e os potenciais inseticidas do OE da casca do fruto do limão áspero (*Citrus jambhiri* Lush.) contra o besouro vermelho da farinha, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Entre 51 compostos identificados, predominados por monoterpeneos oxigenados, um dos predominantes foi o α -Terpineol (8,03%). A aplicação do OE provocou toxicidade e os resultados finais do estudo indicaram o seu potencial como uma alternativa aos pesticidas sintéticos no manejo do besouro vermelho da farinha.

4.5.9 Carvacrol

O carvacrol (CA) presente em 7 estudos é um monoterpeneo fenólico com propriedades tanto hidrofóbicas (anel aromático) quanto hidrofílicas (hidroxila). Ele é um componente chave dos OEs de orégano e tomilho e tem sido amplamente utilizado na área de preservação de alimentos devido às suas atividades biológicas (ERTAN *et al.*, 2023; RATHOD *et al.*, 2021). Pesquisas confirmaram suas propriedades naturais como antioxidante, além de suas capacidades antimicrobianas, antifúngicas e inseticidas. Essas características estão ligadas à sua ampla atividade antimicrobiana (CARDOSO *et al.*, 2023).

XIANG *et al.* (2020) avaliaram a eficácia de OEs contra *Aspergillus flavus*, onde confirmaram que a interação de três OEs (canela, orégano e capim-limão), com 19.84% de carvacrol em sua composição, apresentou atividades inibitórias sinérgicas em *A. flavus*. A mistura não apenas inibiu o crescimento fúngico, mas também diminuiu a produção de aflatoxina B1, além de afetar a colonização de *A. flavus* em grãos de milho. Portanto, a

combinação dos OEs de canela, orégano e capim-limão pode ser considerado um potencial agente antifúngico natural, que pode ser usado para o armazenamento de milho e outros grãos.

4.5.10 Timol

O timol apareceu em 6 estudos e é outro monoterpeno fenólico derivado de muitos OEs, particularmente tomilho spp. Possui vários efeitos biológicos, incluindo efeitos aromatizantes, antioxidantes, anti-inflamatórios, anestésicos locais, antinociceptivos, antissépticos e antifúngicos (CHINEMEREM *et al.*, 2022; ISLAM *et al.*, 2019). No entanto, é conhecido por seus atributos antibacterianos contra uma ampla gama de patógenos (MARCHESE *et al.*, 2016). Esta molécula versátil é utilizada em uma ampla gama de aplicações práticas, incluindo medicina veterinária, odontologia, alimentos e agroquímicos (ESCOBAR *et al.*, 2020; NIKOLIĆ *et al.*, 2014; REYES-JURADO *et al.*, 2019).

EBADOLLAHI E SETZER (2020), em seu estudo, avaliaram a toxicidade fumigante do OE de *Satureja intermedia* contra pragas de insetos de produtos armazenados: *Trogoderma granarium* Everts (besouro khapra), *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (broca menor dos grãos), *Tribolium castaneum* (Herbst) (besouro vermelho da farinha) e *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (besouro dos grãos com dentes de serra). O composto dominante no OE de *S. intermedia* foi o timol (48,1%). Toxicidade fumigante significativa contra os insetos testados foi apresentada e dependeu positivamente das concentrações e dos tempos de exposição. Assim, a alta toxicidade fumigante contra as quatro principais pragas de insetos de produtos armazenados comprovaram que o OE de *S. intermedia* é um potencial candidato para uso como uma alternativa aos inseticidas sintéticos prejudiciais.

4.6 Principais pragas

As pesquisas cujo foco foram as pragas de grãos armazenados destacaram várias espécies que são frequentemente estudadas devido à sua importância econômica e impacto na qualidade e quantidade de grãos. A seguir, estão as principais espécies, assim como o número de estudos dedicados a elas:

4.6.1 *Tribolium castaneum*

O besouro vermelho da farinha (*Tribolium castaneum* (Herbst, 1797), Coleoptera: Tenebrionidae) foi estudada em 32 artigos e é uma praga de grande importância no armazenamento de grãos, com um impacto econômico significativo em todo o mundo (CUI *et al.*, 2021; RÖSNER; WELLMEYER; MERZENDORFER, 2020). Este inseto se destaca por sua alta adaptabilidade, dieta diversificada, hábitos gregários e longa vida útil. É frequentemente encontrado em locais de armazenamento e processamento de grãos, onde causa perdas consideráveis na quantidade e qualidade dos grãos armazenados (CAMPBELL *et al.*, 2022; HOMMA *et al.*, 2022; XIONG *et al.*, 2019a, 2019b).

4.6.2 *Sitophilus oryzae*

O *Sitophilus oryzae* (Schoenherr, 1838), (Coleoptera: Curculionidae) ou gorgulho do arroz, presente em 24 estudos, é uma praga significativa de grãos. Além do arroz esse inseto é capaz de infestar outras culturas como sorgo, trigo, milho, aveia, centeio, cevada e feijão (SULEIMAN; RUGUMAMU, 2017). Todas as fases de desenvolvimento acontecem dentro do grão, onde são depositados os ovos, seguida pela fase larval inicial, pela fase larval avançada e pela fase de pupa, antes de finalmente atingir a fase adulta (ZHANG *et al.*, 2021; JAYAN; PU; SUN, 2022). Em cada estágio o inseto consome os nutrientes dos grãos, mas apenas a fase adulta é visivelmente detectável, o que dificulta a identificação das infestações nos estágios iniciais, sendo necessário que as indústrias desenvolvam ferramentas que detectem precocemente as infestações por *Sitophilus oryzae* (SUN *et al.*, 2021; JAYAN *et al.*, 2023).

4.6.3 *Sitophilus zeamais*

O gorgulho do milho, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky, 1855), (Coleoptera: Curculionidae), apareceu em 21 estudos e é um problema significativo no armazenamento pós-colheita do milho, tanto em silos quanto em sacos. Esses insetos consomem grãos intactos, resultando na redução de sua qualidade (PESCHIUTTA *et al.*, 2019; BRITO *et al.*, 2022). Além disso, devido a atividade alimentar do gorgulho, a temperatura dos grãos armazenados se eleva, desencadeando odores indesejáveis e favorecendo a proliferação de fungos e suas micotoxinas (BAWA *et al.*, 2022).

4.6.4 *Callosobruchus maculatus*

O gorgulho do feijão-caupi, *Callosobruchus maculatus* (Fabricius, 1775), (Coleoptera: Chrysomelidae), citada em 18 estudos, perfura principalmente sementes de feijão-caupi armazenadas e criam furos visíveis na semente. O grau de danos difere de acordo com a variedade da semente e com a duração e condições que prevalecem durante o armazenamento (ABREU *et al.*, 2022; ADAMS *et al.*, 2018). É um inseto de difícil controle, pois possui ciclo de vida rápido e as fêmeas ovipõem muitos ovos (CHERENE *et al.*, 2023). A larva, principal estágio alimentar do gorgulho, causa perda de peso do grão e redução do potencial germinativo da semente (HAJAM; KALPNA; KUMAR, 2022). Além da viabilidade reduzida, a infestação do gorgulho do feijão-caupi também deteriora a qualidade das sementes armazenadas para serem adequadas ao consumo humano, resultando em perdas pós-colheita (FERREIRA *et al.*, 2021).

4.6.5 *Rhyzopertha dominica*

A broca-pequena dos grãos, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Bostrychidae), esteve presente em 13 estudos e é considerada uma das pragas mais devastadoras de uma grande variedade de alimentos armazenados. Tanto as larvas quanto os adultos dessa praga danificam os grãos ao se alimentarem do conteúdo interno, o que leva à perda de peso, diminuição do valor nutricional dos grãos armazenados e aumento da vulnerabilidade a pragas secundárias (ASTUTI *et al.*, 2013; SHAH *et al.*, 2021). Além disso, ainda segundo SHAH *et al.* (2021) os excrementos produzidos por esses insetos podem fomentar o crescimento de outras pragas e microrganismos em produtos armazenados. De acordo com HUBERT *et al.* (2018), os grãos infestados por *R. dominica* liberam um odor desagradável, tornando-os impróprios para o consumo humano. Dessa forma, a infestação por *R. dominica* acarreta sérias perdas econômicas e representa uma significativa ameaça à segurança alimentar.

4.7 Principais fungos

Os fungos representam uma ameaça significativa à qualidade e segurança dos grãos armazenados. Dos gêneros mais problemáticos os mais estudados foram o *Aspergillus* e o *Fusarium*. Esses fungos não só reduzem a qualidade nutricional dos grãos, mas também

produzem micotoxinas, compostos tóxicos que podem ser prejudiciais à saúde humana e animal (BENTO *et al.*, 2012).

4.7.1 *Aspergillus*

O gênero fúngico *Aspergillus* (Micheli, 1729), presente em 23 estudos, inclui muitas espécies amplamente distribuídas e de vida livre, que desempenham uma importante função na reciclagem global de carbono e nitrogênio. Esses fungos são aptos a sobreviverem por longos períodos em diferentes substratos e sob condições ambientais adversas (DAGENAIS; KELLER, 2009). Capazes de produzirem aflatoxinas prejudiciais (DING *et al.*, 2015), foi demonstrado que estas possuem propriedades mutagênicas, imunossupressoras e teratogênicas (CALVO *et al.*, 2002; MANNAA E KIM, 2016). Além disso, depois de ter acesso ao alimento, os *Aspergillus* produzem grandes quantidades de conídios que devido ao seu pequeno tamanho e hidrofobicidade, podem ficar suspensos no ar e espalhar-se facilmente entre grãos e alimentos em instalações de armazenamento (LING *et al.*, 2022).

GWAD *et al.* (2024) através do estudo sobre os efeitos fungicidas e antiaflatoxigênicos do OE de canela, comprovaram a atividade fungicida para o crescimento de aflatoxinas produzidas por *Aspergillus flavus* em grãos de trigo, onde a expressão molecular de genes biossintéticos de aflatoxinas foram fortemente reduzidas em resposta ao tratamento com OE de canela e OE de hortelã-pimenta.

4.7.2 *Fusarium*

O gênero *Fusarium* (Link, 1809), presente em 12 estudos, é amplamente distribuído geograficamente, com sua dispersão sendo influenciada por fatores ambientais como clima, vegetação, microbiota, tipo de solo e disponibilidade de nutrientes. Caracteriza-se por um crescimento rápido e colônias com micélios aéreos que podem ser pálidos ou coloridos e são frequentemente ramificados (MACIEL, 2012; FRIAS, 2014). A importância deste fungo é destacada pelo fato de que muitas de suas espécies são patógenos de plantas e comumente encontrados no solo (GUARRO, 2013).

A maioria dos membros do gênero *Fusarium* sintetiza diversos metabólitos secundários quando as condições ambientais são favoráveis, resultando em uma ampla gama de estruturas químicas. Alguns desses metabólitos, como as micotoxinas, são tóxicos e/ou cancerígenos para

humanos e animais. Essas micotoxinas são frequentemente detectadas em grãos e produtos de origem animal (ESCRIVÁ; FONT; MANYES, 2015).

Os extratos de plantas e os OEs com seus constituintes podem ser uma alternativa no controle de fungos aflatoxigênicos (CALO *et al.*, 2015). Os OEs podem interromper a estrutura da membrana plasmática, causando danos às organelas celulares dos fungos toxigênicos (SIL *et al.*, 2020). Diante disso, vários estudos têm explorado a potencial atividade antifúngica dos OEs contra *Aspergillus e Fusarium* em cereais (TIAN *et al.*, 2016; EL-SAYED, 2011; BOŽIK *et al.*, 2017).

Entre os trabalhos selecionados para este estudo BOCATE, EVANGELISTA E LUCIANO (2021) exploraram o potencial dos OE de alho, quanto à sua atividade antifúngica para investigar a possibilidade de seu uso no tratamento de grãos de milho para controlar fungos transmitidos por sementes, entre eles do gênero *Fusarium e Aspergillus*, produtores de micotoxinas, onde o OE de alho teve uma atividade inibitória satisfatória onde o crescimento fúngico foi totalmente reduzido. Os resultados confirmaram que o OE pode evitar o crescimento de fungos micotoxigênicos e, portanto, pode ser usado para melhorar a segurança dos grãos de milho armazenados. Estas descobertas implicam que OEs de determinadas espécies de plantas são eficazes no controle de fungos.

4.8 Principais técnicas de aplicação de óleos essenciais

Os OEs podem ser aplicados nos alimentos de várias formas, como, por exemplo, através da adição direta como ingrediente na fórmula, na incorporação em embalagens como componentes ativos e funcionais, além de poderem ser utilizados como revestimentos de proteção (JU *et al.*, 2018; JU *et al.*, 2019). Um dos métodos de aplicação mais comuns para o controle de pragas é a fumigação. Esta técnica é empregada para eliminar qualquer infestação em grandes quantidades, através do uso de gás inseticida. É utilizado sempre que há infestação no lote, silo ou armazém (LORINI *et al.*, 2013). Uma das principais vantagens da fumigação é a ausência de efeito residual. No entanto, isso também pode ser uma limitação no controle de pragas por longos períodos, pois após a operação, os grãos fumigados ficam novamente suscetíveis a reinfestações. Portanto, é necessário complementar a fumigação com um inseticida líquido, que ofereça proteção prolongada aos grãos (CAVALCANTI, 2008).

A técnica de imersão é amplamente utilizada na indústria alimentícia. Segundo BURT (2004), a imersão de alimentos em soluções com OEs pode ser uma maneira eficaz de

conservação, prolongando a vida útil dos produtos devido às suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes.

A incorporação de agentes ativos em embalagens na indústria apresenta-se como uma alternativa à aplicação direta desses agentes sobre os alimentos, que muitas vezes não é eficiente devido à rápida difusão das substâncias ativas. (FUCIÑOS *et al.*, 2012). Por outro lado, as embalagens contendo substâncias ativas, permitem que estas migrem para os alimentos ou absorvam radicais oxidativos, melhorando a qualidade e prolongando a vida útil dos produtos. Desse modo, funcionam como uma barreira eficaz contra a entrada de patógenos microbianos externos (RANGARAJ *et al.*, 2021).

4.9 Desafios e perspectivas

O uso industrial de OEs enfrenta alguns desafios, como a variabilidade na composição química, interações com a matriz alimentar, questões de toxicidade, características sensoriais distintas, necessidade de padronização da aplicação no produto, volatilidade, suscetibilidade à oxidação e riscos à biodiversidade ecológica. Portanto, é crucial desenvolver tecnologias e realizar pesquisas para superar essas barreiras. (STEVANOVIĆ *et al.*, 2018; RIBEIRO-SANTOS *et al.*, 2018). Entretanto, o uso de tais compostos no combate a pragas oferece várias vantagens, incluindo baixa toxicidade, rápida degradabilidade, seletividade e ação rápida (LISBOA, 2018).

Pesquisas sobre o uso de substâncias naturais, como os OEs, têm se intensificado e mostrado resultados promissores, já que têm se revelado eficazes na conservação dos alimentos sem comprometer a segurança dos consumidores (ARABSHAHI-DELOUEE; DEVI; UROOJ, 2007; CAROCHO; MORALES; FERREIRA, 2015; SAKKAS *et al.*, 2016; ZHANG *et al.*, 2016). Em vista disso, desde que se descobriu suas diversas propriedades benéficas, o mercado para esses produtos tem mostrado uma tendência significativa de crescimento. Os principais países envolvidos nesse mercado, tanto como importadores quanto exportadores, são Índia, Estados Unidos, França, China e Brasil. Devido à crescente demanda por aditivos naturais como substitutos dos sintéticos, o mercado de OEs tende a continuar expandindo nos próximos anos, beneficiando os produtores e exportadores (BIZZO, REZENDE, 2022).

Ainda assim, apesar de todos os avanços na produção de alimentos, a segurança alimentar continua sendo uma questão de saúde pública cada vez mais relevante, necessitando de novos métodos para garantir a segurança dos alimentos, especialmente aqueles que sejam

naturais. Nesse sentido, o grande interesse pelos OEs decorre do fato de serem produtos naturais que podem atuar sinergicamente com outras técnicas de preservação (NIETO, 2017; MAISANABA *et al*, 2017; RIBEIRO-SANTOS *et al*, 2018).

Por fim, existem diferentes e abundantes espécies botânicas que devido ao potencial de suas substâncias bioativas, têm apresentado resultados favoráveis ao seu uso no manejo de diferentes pragas recorrentes no armazenamento de grãos. Sendo assim, tais plantas têm sido utilizadas no desenvolvimento de novos produtos direcionados ao controle dessas pragas. Porém, é conveniente que novas pesquisas sejam desenvolvidas nessa área. Como pôde ser observado por esse trabalho, ainda existem desafios associados ao uso de OEs que podem afetar sua estabilidade e eficácia. Além disso, o risco de desenvolvimento de resistência das pragas, similar ao observado com pesticidas sintéticos e a necessidade de infraestrutura adequada para produção em larga escala também exige cuidado e estudo. Sendo assim, intensificar as pesquisas com a finalidade de superar os desafios, é crucial para a adoção generalizada dessas práticas. Somente com o avanço da pesquisa e inovação tecnológica, é possível que os OEs desempenhem um papel cada vez mais importante na agricultura e no manejo de pragas.

5 CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica realizada no presente trabalho reforça que a aplicação de OEs na conservação de grãos armazenados apresenta-se como uma alternativa promissora e sustentável em comparação aos métodos tradicionais no manejo de pragas. Propriedades antimicrobianas, antioxidantes e inseticidas foram observadas nos compostos estudados e ofereceram uma solução eficaz e natural na aplicação em grãos durante o armazenamento. Embora algumas limitações como alta volatilidade e baixa solubilidade em água sejam observadas, tecnologias inovadoras como a encapsulação e a produção de nanoemulsões, bem como o desenvolvimento de embalagens ativas, demonstram potencial para otimizar o uso e a eficácia do OEs, aumentando sua biodisponibilidade, facilitando sua incorporação e ação direcionada. Sendo assim, até o momento, estudos recentes apontam para resultados que assinalam que os OE são eficientes e possuem potencial para substituir ou reduzir o uso de produtos sintéticos.

No geral, os estudos com OEs revelam uma multiplicidade de benefícios contra um considerável número de pragas. Com atividade fumigante, repelente e de contato são capazes de contribuir significativamente para a indústria de armazenamento de grãos. Promovendo a

conservação adequada de grãos armazenados, possuem capacidade de desempenhar um papel fundamental na garantia da segurança alimentar, na prevenção de perdas pós-colheita e na sustentabilidade. No entanto, é necessário investigar e desenvolver técnicas que garantam a estabilidade, a consistência dos compostos em diferentes condições de armazenamento e a redução da consequente toxicidade para organismos não-alvo. Assim, a utilização de OEs poderá se tornar uma prática amplamente adotada e eficiente, beneficiando agricultores, comerciantes e consumidores.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAHI, N.; DANDAGO, M.A. Postharvest losses in food grains—A Review. **Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences**, v. 3, cap. 2, p. 25-36, 2021.
- ABOU EL-SOUD, N.H. *et al.* Chemical composition and antifungal activity of *Ocimum basilicum* L. essential oil. **Open access Macedonian journal of medical sciences**, v. 3, p. 374, 2015.
- ABREU, A.O. *et al.* Ozone as an alternative fumigant for controlling *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) in cowpea beans. **J. Stored Prod. Res.**, v. 97, Article 101969, 2022.
- AĆIMOVIĆ, M. *et al.* Chemical composition, antioxidant, and antimicrobial activity of *Dracocephalum moldavica* L. essential oil and hydrolate. **Plants**, v. 11, 941. 2022.
- ADAMS, B.; OSEKRE, E.A.; AMOAH, S. Evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) genotypes' growth and yield performance and resistance to the cowpea seed beetle, *Callosobruchus maculatus* F. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 19, p. 1-9, 2018.
- AHMAD, R. *et al.* Stored grain pests and current advances for their management. **Postharvest technology - recent advances, new perspectives and applications**. London: IntechOpen. 2021.
- AKINBULUMA, M.D. *et al.* Towards Food Security: Essential Oil Components as Protectants Against the Rice Weevil, *Sitophilus Oryzae*. **Jordan J. Biol. Sci.**, v. 15, p. 193-197, 2022.
- ALI, S.A. *et al.* Black seed and rosemary nanoformulations as green insecticides for the granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: curculionidae). **J. Food Sci.**, v. 87, p. 3095-3106, 2022.
- ALMADIY, A.A. *et al.* *Cupressus sempervirens* Essential Oil, Nanoemulsion, and Major Terpenes as Sustainable Green Pesticides against the Rice Weevil. **Sustainability**, v. 15, 2023.
- ALMEIDA, M. P. *et al.* Explorando a química e a atividade antifúngica de óleos essenciais: Uma proposta de projeto para a Educação Básica. **Tese (Doutorado em Bioquímica e Fisiologia)** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
- ALTAF, F. *et al.* Synthesis and Characterization of PVA/Starch Hydrogel Membranes Incorporating Essential Oils Aimed to be Used in Wound Dressing Applications. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 29 p. 156-174, 2021.
- ALVES, M. D. S. *et al.* Lemongrass essential oil: Scientific bases for an agroecological approach to seed protection. **Industrial Crops and Products**, v. 199, 2023, 116760, ISSN 0926-6690.

- ANSARIA, M. A. *et al.* Larvicidal and mosquito repellent activities of Pine (*Pinus longifolia*, Family: Pinaceae) oil. **Journal of Vector Borne Diseases**, v. 42, p. 95. 2005.
- ARABSHAHI-DELOUEE, S.; DEVI, D. V.; UROOJ, A. Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their heat, pH and storage stability. **Food Chemistry**, v. 100, n. 3, p. 1100-1105, 2007.
- ASTUTI, L.P. *et al.* Susceptibility of milled rice varieties to the lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica* F). **J. Agric. Sci.**, v. 5, p. 145-149, 2013.
- ATOLANI, O. Chemical composition, antioxidant, anti-lipoxygenase, antimicrobial, anti-parasite and cytotoxic activities of *P. olyalthia longifolia* seed oil. **Med. Chem. Res**, v. 28, p. 515–527, 2019.
- AWUCHI, C. G.; MORYA, S. Herbs of asteraceae family: nutritional profile, bioactive compounds, and potentials in therapeutics. **Harvesting Food from Weeds**, p. 21-78, 2023.
- AZIZ, Zarith A.A. *et al.* Essential oils: extraction techniques, pharmaceutical and therapeutic potential-a review. **Current drug metabolism**, v. 19, n. 13, 2018.
- BABARINDE, S.A. *et al.* Composition and toxicity of rough lemon (*Citrus jambhiri* Lush.) rind essential oil against red flour beetle. **Acta Ecologica Sinica**, v. 41, Issue 4, 2021, p. 325-331, ISSN 1872-2032.
- BADEA, G. *et al.* Influence of basil oil extract on the antioxidant and antifungal activities of nanostructured carriers loaded with nystatin. **Comptes Rendus Chimie**, v. 18, p. 668-677, 2015.
- BAKKALI, F. *et al.* Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, p. 446-475, 2008.
- BANGA, K. *et al.* Major insects of stored food grains. **Int. J. Chem. Stud.**, v. 8, p. 2380-2384, 2020.
- BARATA, ANA M. *et al.* Plantas Aromáticas. **Caderno Técnico nº 3. Portugal: Silva Lusitana** (INIAV – IP). p. 146, 2018.
- BARRETO, S. F.; GASPI, F. O. G. DE; OLIVEIRA, C. F. DE. Estudo Químico Das Principais Vias Do Metabolismo Secundário Vegetal: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Científica da FHO, Fundação Hermínio**, v. 8, n. 1, p. 60–72, 2020.
- BASSOLÉ, I. H. N.; JULIANI, H. R. Óleos Essenciais em Combinação e Suas Propriedades Antimicrobianas. **Moléculas**, v.17, p. 3989-4006, 2012.
- BAWA, S.A. *et al.* Susceptibility of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) to selected stored product insecticides in the Central region of Ghana. **J. Agric. Food Res.**, v. 9, Article 100335, 2022.

BECERRIL, R.; NERÍN, C.; SILVA, F. **Encapsulation systems for antimicrobial food packaging components: An update** *Molecules*. v. 25, n. 5, p. 1134, 2020.

BEDINI, S.; FARINA, P.; CONTI, B. Bioattività degli oli essenziali: Luci e ombre del loro utilizzo nella gestione degli insetti dannosi. **In Atti dell'Accademia Nazionale Italiana di Entomologia**: Florence, Italy, 2019; pp. 201–206.

BELWAL, T. *et al.* Recent advances in scaling-up of non-conventional extraction techniques: Learning from successes and failures. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 127, 115895, 2020.

BEN MIRI, Y. *et al.* Antifungal Activity of Menthol, Eugenol and Their Combination against *Aspergillus ochraceus* and *Aspergillus niger* In Vitro and in Stored Cereals. **Foods**, v. 12, 2018, 2023.

BENTO, L.F. *et al.* Ocorrência de fungos e aflatoxinas em grãos de milho. **Rev Inst Adolfo Lutz**. São Paulo, v. 71, p. 44-9, 2012.

BETINA, A. S. Aditivos alimentares: Aspectos Tecnológicos e impactos na Saúde Humana. **Revista contexto & Saúde**, v.19 n. 36 p. 7-8, 2019.

BEVILACQUA, A.; CORBO, M.R.; SINIGAGLIA, M. In vitro evaluation of the antimicrobial activity of eugenol, limonene, and citrus extract against bacteria and yeasts, representative of the spoiling microflora of fruit juices. **Journal of Food Protection**, v. 73, n. 5, p. 888-894, 2010.

BHAVANIRAMYA, S. *et al.* Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications. **Grain & Oil Science and Technology**, v. 2, n. 2, p. 49-55, 2019.

BIASI, L. A.; DESCHAMPS, C. Plantas aromáticas: do cultivo à produção de óleo essencial. Curitiba: Layer Studio Gráfico e Editora Ltda, 2009.

BINCY, K. *et al.* Chemical composition and insecticidal activity of *Ocimum basilicum* (Lamiaceae) essential oil and its major constituent, estragole against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). **J Plant Dis Prot.**, v. 130, p. 529–541, 2023.

BIZZO, H.; REZENDE, C. O Mercado de Óleos Essenciais no Brasil e no Mundo na Última Década. **Química Nova**, [S.L.], v. 45, n. 8, p. 949-958, 2022. Sociedade Brasileira de Química (SBQ).

BOCATE, K.P.; EVANGELISTA, A.G.; LUCIANO, F.B. Garlic essential oil as an antifungal and anti-mycotoxin agent in stored corn. **LWT**, v. 147, 2021, 111600, ISSN 0023-6438.

BOUKHATEM, M. N. *et al.* The food preservative potential of essential oils: is lemongrass the answer? **Journal Für Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit**, v. 9, p. 13–21, 2013.

BOŽIK M, *et al.* Selected essential oil vapours inhibit growth of *Aspergillus* spp. in oats with improved consumer acceptability. **Ind Crops Prod.**; v. 98, p. 146–52, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários** – AGROFIT. Brasília: MAPA, 2024.

BRITO, V.D. *et al.* Fungal diversity and mycotoxins detected in maize stored in silo-bags: a review. **J. Sci. Food Agric.**, v. 102, p. 2640-2650, 2022.

BURGER, P. *et al.* Extraction of Natural Fragrance Ingredients: History Overview and Future Trends. **Chemistry & Biodiversity**, v. 16, n. 10, 2019.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 94, n. 3, p. 223-253, 2004.

CABALLERO-GALLARDO, K. *et al.* Chemical Composition and Bioactivity of Essential Oils from *Cymbopogon nardus* L. and *Rosmarinus officinalis* L. Against *Ulomoides dermestoides* (Fairmaire, 1893) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 24, n. 3, p. 547–560, 2021.

CAIXETA FILHO, J. V. e PÉRA, T. G. O custo do desperdício na logística do agronegócio no Brasil. In: **Perdas em transporte e armazenagem de grãos: panorama atual e perspectivas**. Tradução. Brasília, DF: CONAB, p. 58-74, 2021.

CALO JR. *et al.* Essential oils as antimicrobials in food systems—A review. **Food Control**, v. 54, p. 111–119, 2015.

CALVO, A.M. *et al.* Relationship between secondary metabolism and fungal development. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 66, n. 3, p. 447-459, 2002.

CAMPBELL, J.F. Athanassiou CG, Hagstrum DW, Zhu KY. *Tribolium castaneum*: a model insect for fundamental and applied research. **Annu Rev Entomol**, v. 67, p. 347–365, 2022.

CAMPOLO, O. *et al.* Essential oils in stored product insect pest control. **J. Food Qual.**, p. 1-18, 2018.

CANEPPELE, M.A.B. *et al.* Correlation between the infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera, Curculionidae) and quality factors of stored corn, *Zea mays* L. (Poaceae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v.47, p. 625-630, 2003.

CARDOSO, L.T. *et al.* Carvacrol-loaded nanoemulsions produced with a natural emulsifier for lettuce sanitization. **Food Research International**, v. 168, Article 112748, 2023.

CARDOSO, R.C. *et al.* Potencial Antimicrobiano do Óleo da Folha de *Eucalyptus urograndis* Frente *Stafilococcus aureus*. **Id on Line Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, v. 13, n. 43, p. 989-1002, 2019.

CARMO, E. S.; LIMA E. O.; SOUZA, E. L. The potential of *Origanum vulgare* L. (Lamiaceae) essential oil in inhibiting the growth of some food-related aspergillus species. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 39, p.362-367, 2008.

- CAROCHO, M.; MORALES, P.; FERREIRA, I. C. F. R. Natural food additives: Quo vadis? **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, p.284–295, 2015.
- CARVALHO, A. *et al.* Manejo integrado de pragas de grãos armazenados: implantação e monitoramento de pragas na unidade armazenadora. **PR Coop. Tecn. Cient.**, Curitiba, v. 17, p. 36-61, 2017.
- CARVALHO, F. e RODRIGUES, L.A. Um sistema de informação para monitoramento de qualidade e estimativa de perdas em instalações de armazenamento de grãos usando dados de sensores de IoT e outros mecanismos. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 15, n. 1, p. 12-21, 2023.
- CASSEL, E. *et al.* Steam distillation modeling for essential oil extraction process. **Industrial Crops and Products**, v. 29, p. 171-176, 2009.
- CASSEL, E.; VARGAS, Rubem Mário Figueiró. Proceso industrial de destilación por arrastre a vapor de aceite esencial de romero. **Revista de investigacion**, v. 01, p. 11-18, 2008.
- CASSEL, E.; VARGAS, Rubem Mário Figueiró; BRUN, Gerti Weber. Supercritical Extraction of Essential Oil from *Ilex paraguariensis* Leaves. **Natural Product Communications**, v.3, p. 373-378, 2008.
- CAVALCANTI, A. R. Metodologias de controle de pragas em grãos e produtos armazenados. **Biológico**, v. 70, n. 2, p. 101-103, 2008.
- CHAUDHARI, A.K. *et al.* Improvement of in vitro and in situ antifungal, AFB1 inhibitory and antioxidant activity of *Origanum majorana* L. essential oil through nanoemulsion and recommending as novel food preservative. **Food and Chemical Toxicology**, v. 143, Article 111536, 2020.
- CHERENE, M.B. *et al.* Insecticidal activity of *Capsicum annum* L. leaf proteins on cowpea weevil *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) development. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 26, Issue 4, 2023, 102158, ISSN 1226-8615.
- CHIGOVERAH, A.A.; MVUMI, B.M. Efficacy of metal silos and hermetic bags against stored-maize insect pests under simulated smallholder farmer conditions. **J. Stored Prod. Res.**, v. 69, p. 179-189, 2016.
- CHINEMEREM, N.D. *et al.* Antibiotic resistance: the challenges and some emerging strategies for tackling a global menace. **J Clin Lab Anal.**, v. 36, n. 9, p. 24655, 2022.
- CHRYSARGYRIS, A. *et al.* Profiling of Essential Oils Components and Polyphenols for Their Antioxidant Activity of Medicinal and Aromatic Plants Grown in Different Environmental Conditions. **Agronomy**, v. 10, p. 727, 2020.
- CHULZE, S. N. Strategies to reduce mycotoxin levels in maize during storage: a review. **Food Additives and Contaminants**, London, v. 27, n. 5, p. 651-657, 2010.

CIMINO, C. *et al.* Essential Oils: Pharmaceutical Applications and Encapsulation Strategies into Lipid Based Delivery Systems. **Pharmaceutics**; v. 13, n. 3, p. 327, 2021.

CIRIMINNA, R. *et al.* Limonene: a versatile chemical of the bioeconomy. **Chem. Commun.**, v. 50, n. 97, p. 15288–15296.

COITINHO, R. L. B. C. de. *et al.* Toxicity by fumigation, contact and ingestion of essential oils in *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1885 (Coleoptera: Curculionidae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 1, p. 172 178, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Perdas em transporte e armazenagem de grãos: panorama atual e perspectivas / Organizadores Paulo Cláudio Machado Júnior e Stelito Assis dos Reis Neto.** – Brasília, DF: Conab. 197p. 2021.

CORRÊA, R. M.; PINTO, J. E. B. P; MOREIRA, C. M.; REIS E. S.; ROSADO, L. D. S.; CASTRO, E. M. Características anatômicas e fisiológicas de orégano (*Origanum vulgare*) sob telas termorefletoras. **Horticultura Brasileira**, v. 26: p. S364- S368, 2008.

CORREIA, S. J., *et al.* Flavonóides, norisoprenóides e outros terpenos das Folhas de *Tapirira guianensis*. **Química Nova**. v. 31, n° 8, p. 2056-2059, 2008.

COSTA-BECHELENI, Francielli Regina, *et al.* Aceites esenciales para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) y efecto sobre la calidad del grano de maíz *Zea mays* Linnaeus (Poales: Poaceae). **Rev. chil. Entomol.**, Santiago, v. 46, n. 4, p. 639-652, 2020.

CRUZ JC, KARAM D, MONTEIRO MAR, MAGALHÃES PC. **A cultura do Milho.** Sete Lagoas. Embrapa Milho e Sorgo. 517p, 2008.

Cui K, He L, Cui G et al (2021) Biological activity of trans-2-hexenal against the storage insect pest *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and mycotoxigenic storage fungi. **J Econ Entomol.**, v. 114, n. 2, p. 979–987.

CUNHA, A. L. *et al.* Os metabólitos secundários e sua importância para o organismo. **Diversitas Journal**, p. 175-181, maio/ago., 2016.

CVJETKO BUBALO, M. *et al.* New perspective in extraction of plant biologically active compounds by green solvents. **Food and Bioproducts Processing**, v. 109, p. 52-73, 2018.

DA COSTA, R.H.S. *et al.* Evaluation of antibacterial activity and reversal of the NorA and MepA efflux pump of estragole against *Staphylococcus aureus* bacteria. **Arch. Microbiol.**, v. 203, p. 3551-3555, 2021.

DA HORA, N. R. S. *et al.* Identification of bioactive metabolites from corn silk extracts by a combination of metabolite profiling, univariate statistical analysis and chemometrics. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 365, n. June, p. 130479, 2021.

DA SILVA A.C.R. *et al.* Biological activities of α -pinene and β -pinene enantiomers. **Molecules**. 2012 Jan [cited 2014 Oct 6]; v. 17, n.6, p. 6305–6316.

- DAGENAIS TRT, KELLER NP. Pathogenesis of *Aspergillus fumigatus* in invasive aspergillosis. **Clin Microbiol Rev.**, v. 22, p. 447- 465, 2009.
- DANTIGNY, P.; NANGUY, S. P. M. Significance of the physiological state of fungal spores. **International Journal of Food Microbiology**, v. 134, n. 1-2, p. 16-20, 2009.
- DEDE, S. *et al.* Basil oil-loaded electrospun biofibers: Edible food packaging material. **Journal of Food Engineering**, v. 319, Article 110914, 2022.
- DE FREITAS, Coelho Ana Paula *et al.* Controle alternativo de fitopatologias: uso de óleos essenciais no tratamento sanitário de sementes. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 9, p. 13857-13878, 2023.
- DE OLIVEIRA, L. R. C. *et al.* **Bioaditivos e Aditivos Naturais em Alimentos:** Corantes, Antioxidantes e Aromatizantes. BTC, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 77-93, 2019.
- DE OLIVEIRA, M.G. *et al.* α -Terpineol reduces mechanical hypernociception and inflammatory response. **Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology**, v. 111, pp. 120-125, 2012.
- DE SOUSA, D.P.; QUINTANS JR. L.; DE ALMEIDA, R.N. Evolution of the anticonvulsant activity of α -terpineol. **Pharmaceutical Biology**, v. 45, p. 69-70, 2007.
- DEVI T.B.; RAINA V.; RAJASHEKAR Y. A novel biofumigant from *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray for control of stored grain insect pests. **Pestic Biochem Physiol**, v. 184:105116, 2022.
- DHAR P. *et al.* Synthesis, antimicrobial evaluation, and structure-activity relationship of α -pinene derivatives. **J Agric Food Chem**, v. 62, n. 16, p. 3548–3552, 2014.
- DHARA, L.; TRIPATHI, A. Antimicrobial activity of eugenol and cinnamaldehyde against extended spectrum beta lactamase producing enterobacteriaceae by in vitro and molecular docking analysis. **Eur. J. Integr. Med**, v. 5, p. 527–536, 2013.
- DIAS, F. H. C. *et al.* Efeito dos óleos essenciais na qualidade sanitária e fisiológica de sementes de milho crioulo. **Scientific Electronic Archives**, [S.L.], v. 14, n. 9, p. 1-10, 30 ago. 2021.
- DIETRICH, F. *et al.* Use of Botanical Pesticides in Organic Agriculture in Arroio Do Meio. **Rs. R. Bras. Agrociência**, v. 17, p. 251-255, 2011.
- DING, N. *et al.* Variation in fungal microbiome (mycobiome) and aflatoxin in stored in-shell peanuts at four different areas of China. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, p. 1055, 2015.
- DJENANE, D. *et al.* Antioxidant and antibacterial effects of *Lavandula* and *Mentha* essential oils in minced beef inoculated with *E. coli* O157:H7 and *S. aureus* during storage at abuse refrigeration temperature. **Meat. Sci.**, v. 92, p. 667–674, 2012.

DURÇO, B.B.- Tendências e desafios da aplicação dos óleos essenciais em produtos de origem animal. **Revista Agron Food Academy**, mar, p. 1-2, 2021.

EBADOLLAHI, A.; SETZER, W.N. Evaluation of the Toxicity of *Satureja intermedia* C. A. Mey Essential Oil to Storage and Greenhouse Insect Pests and a Predator Ladybird. **Foods**, v. 9, n. 6, p. 712, 2020.

EGBUNA, C. Fundamentals, Modern Techniques, and Applications. **Phytochemistry**, v. 1, 2018.

ELBEHERY, H.H.; IBRAHIM, S.S. Potential fumigant toxicity of essential oils against *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae) and its egg parasitoid *Trichogramma evanescens* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Sci Rep.**, v. 14, p. 6253, 2024.

ELBRENSE, H. *et al.* Insecticidal, Antifeedant and repellent efficacy of certain essential oils against adult rust-red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). **Egypt. J. Chem.**, v. 65, p. 167–178, 2022.

ELGAT, W. A. A. *et al.* *Eucalyptus camaldulensis*, *Citrus aurantium*, and *Citrus sinensis* essential oils as antifungal activity against *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, and *Fusarium culmorum*. **Processes** v. 8, p. 1003, 2020.

ELMADAWY, ALZAHRAA ABDELATY; OMAR, AHMED FAYEZ; ISMAIL, TAMER BAGS. Impregnated with garlic (*Allium sativum* L.) and parsley (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss) essential oils as a new biopesticide tool for *Trogoderma granarium* Everts, 1898 pest control. **Acta agriculturae Slovenica**, v. 119 n. 1, 2023.

EL-SAYED, ASA. Purification and characterization of a new L-methioninase from solid cultures of *aspergillus flavipes*. **J Microbiol**, v. 49, p. 130–140, 2011.

ERTAN, K. *et al.* Carvacrol/cyclodextrin inclusion complex loaded gelatin/pullulan nanofibers for active food packaging applications. **Food Hydrocolloid.**, v. 142, Article 108864, 2023.

ESCOBAR, A. Thymol bioactivity: Focusing on practical applications. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 13, pp. 9243-9269, 2020.

ESCRIVÁ, L.; FONT, G.; MAYNES, L. In vivotoxicity studies of *Fusarium* mycotoxins in the last decade: A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 78, p. 185–206, 2015.

ET-TAZY, L. *et al.* In Vitro Antioxidant and Antifungal Activities of Four Essential Oils and Their Major Compounds against Post-Harvest Fungi Associated with Chickpea in Storage. **Plants**, v. 12, p. 3587, 2023.

FALLEH, H. *et al.* Essential Oils: A Promising Eco-Friendly Food Preservative. **Food Chemistry**, 2020.

FARONI, L. R. D.' A.; SOUSA, A. H de. Aspectos biológicos e taxonômicos dos principais insetos-praga de produtos armazenados. **Tecnologia de Armazenagem em Sementes**, v. 1, p. 371-402, 2006.

FARONI, L.R.D; SOUZA, A. H. Os problemas com pragas de armazenamento e as tendências para seu controle na pós-colheita de grãos. In: **Conferência brasileira de pós-colheita**, 05, 2010, Foz do Iguaçu. Anais. Londrina: ABRAPOS. p. 68-83, 2010.

FENG, J. *et al.* Formulation optimization of D-limonene-loaded nanoemulsions as a natural and efficient biopesticide. **Colloid. Surf.**, v. 596, p. 124746, 2020.

FERNANDES, P.C. *et al.* Cultivo de manjerição em hidroponia e em diferentes substratos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 22, p. 260-264, 2004.

FERREIRA E. I. Planejamento de Fármacos na Área de Doença de Chagas: Avanços e Desafios. **Revista Virtual Química**, v. 4, n. 3, p. 225-246, 2012.

FERREIRA S.R. *et al.* The resistance of the cowpea cv. BRS Xiquexique to infestation by cowpea weevil is related to the presence of toxic chitin-binding proteins. **Pestic. Biochem. Physiol.**, v. 173, Article 104782, 2021.

FILLY, A. *et al.* Water as a green solvent combined with different techniques for extraction of essential oil from lavender flowers. **Comptes Rendus Chimie**, v. 19, p. 707-717, 2016.

FILOMENO, C. A. *et al.* Chemical diversity of essential oils of Myrtaceae species and their insecticidal activity against *Rhyzopertha dominica*. **Crop Protection**, v. 137, 105309, ISSN 0261-2194, 2020.

FLORIANO, R.F. *et al.* Effect of storage on the quality of peanut grain oil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 124, 105688, ISSN 0889-1575, 2023.

FRANCO, B. D. G. M. E LANDGRAF, M. **Microbiologia dos Alimentos**. São Paulo: Editora Atheneu, 2006.

FRANKEL, E. N. Natural phenolic antioxidants and their impact on health. In: PACKER, L.; HIRAMATSU, M.; YOSHIKAWA, T. Antioxidant Food Supplements in Human Health. San Diego: **Academic Press**. 511, 1999.

FREITAS-SILVA, O. F. *et al.* Processo de ozonização gasosa em milho e seu efeito na redução da microbiota e na degradação de aflatoxinas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 31. Rio de Janeiro-RJ: Embrapa Agroindústria de alimentos. Rio de Janeiro, p. 18, 2020.

FRIAS, A. G. Caracterização de isolados de *Fusarium oxysporum* e f.sp. *lactucae* obtidos de campos de produção comercial no estado de São Paulo e avaliação de genótipos de alface. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)**, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, São Paulo. p. 56, 2014.

FUCIÑOS C. *et al.* Use of Poly (N-isopropylacrylamide) Nanohydrogels for the Controlled Release of Pimaricin in Active Packaging. **Journal of Food Science**, v. 77, p. 21-28, 2012.

GALO, G. T. *et al.* Estudo da Extração da queratina a partir da cebola roxa (*Allium cepa* L.) e seu uso como conservante natural. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n.1, p. 0153–0162, 2018.

GAO, S. *et al.* Insecticidal Activity of *Artemisia vulgaris* Essential Oil and Transcriptome Analysis of *Tribolium castaneum* in Response to Oil Exposure. **Frontiers in genetics**, [s.l.], v. 11, n. 589, p. 1-19, 2020.

GAYSINSKY, S. Emulsions and microemulsions as antimicrobial delivery systems. **Tese (Doutorado)** – Department of Food Science, University of Massachusetts Amherst, 2007.

GHOORCHIAN, M., RAHMANI, S. & WEISANY, W. Toxicity effects of several medicinal plants essential oils on Angoumois grain moth (*Sitotroga cerealella*) female adults. **J Plant Dis Prot** v. 130, p. 1263–1271, 2023.

GIMENEZ E.; SALINAS M.; MANZANO-AGUGLIARO F. Worldwide research on plant defense against biotic stresses as improvement for sustainable agriculture. **Sustainability**, v. 10, p. 391, 2018.

GOVIN, E. S. *et al.* Estúdio farmacognóstico de *Ocimum basilicum* L. (Albahaca blanca). **Revista Cubana de Farmácia**, v. 34, n. 3, p. 187-195, 2000.

GREEFF-LAUBSCHERA, M. R.; BEUKESB, I.; GERT, J.; JACOB, M. K. Mycotoxin production by three different toxigenic fungi genera on formulate da balone feed and the effect of an aquatic environment on fumonisins. **Mycology**, v. 11, n. 2, p. 105–117, 2020.

GUARRO, J. Fusariosis, a complex infection caused by a high diversity of fungal species refractory to treatment. **Euro. Journal of Clinical Microbiology**. Infect. Dis. p. 32, 2013.

GWAD, M.M.A. *et al.* Potential fungicidal and antiaflatoxigenic effects of cinnamon essential oils on *Aspergillus flavus* inhabiting the stored wheat grains. **BMC Plant Biol.**, v. 24, p. 394, 2024.

HADIDI, M. *et al.* Chitosan nanoparticles loaded with clove essential oil: Characterization, antioxidant and antibacterial activities. **Carbohydrate Polymers**, v. 236, p. 1-8, 2020.

HAJAM YA. KALPNA, R. KUMAR. Management of stored grain pest with special reference to *Callosobruchus maculatus*, a major pest of cowpea: a review. **Heliyon**, v. 8, Article e08703, 2022.

HASSAN, M.W. *et al.* Damage assessment of stored grain pests against rice grains types and wheat. **Int. J. Trop. Insect Sci.**, v. 43, p. 35-41, 2023.

HASSAN, S.B. *et al.* Alpha terpineol: A potential anticancer agent which acts through suppressing NF-κB signalling. **Anticancer Research**, v. 30, pp. 1911-1919, 2010.

HOCH, C.C *et al.* 1,8-Cineole (Eucalyptol): a versatile phytochemical with therapeutic applications across multiple diseases Biomed. **Pharmacother.**, v. 167, 2023.

HOMMA, Y. The mitochondrial phosphatase PTPMT1 is required for the proper growth rate in the red flour beetle. **Tribolium Castaneum Zoolog Sci**, v. 39, n. 3, p. 236–241, 2022.

HONORATO, T. C.; NASCIMENTO, K. O. Conhecimento do consumidor em relação aos aditivos utilizados na produção e conservação dos alimentos. **Nutrição Brasil**, Volta Redonda, v. 10, n. 1, p. 42-48, 2011.

HUBERT, J. *et al.* Health hazards associated with arthropod infestation of stored products. **Annu Rev Entomol.**, v. 63, p. 553–573, 2018.

HUONG, L. T. *et al.* Chemical composition, antimicrobial and larvicidal activities of essential oils of two *Syzygium* species from Vietnam. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e270967, p. 1-9, 2024.

HUSSAIN, A.I. *et al.* Rosmarinus officinalis essential oil: antiproliferative, antioxidant and antibacterial activities. **Braz J Microbiol.**, v. 41, n. 4, p. 1070-1078, 2010.

HUSSEIN, K.N. *et al.* Effect of α -terpineol on chicken meat quality during refrigerated conditions. **Foods**, v. 10, p. 1855, 2021.

IBRAHIM, S.S. Polyethylene Glycol Nanocapsules Containing *Syzygium aromaticum* Essential Oil for the Management of Lesser Grain Borer, *Rhyzopertha dominica*. **Food Biophysics**, v. 17, p. 523–534, 2022.

ISLAM, M.T. *et al.* Anticancer activity of thymol: a literature-based review and docking study with emphasis on its anticancer mechanisms. **IUBMB Life**, v. 71, n. 1, p. 9–19, 2019.

ISMAN MB. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Rev Entomol**, v. 51, n. 1, p. 45-66, 2006.

JAYAN, H.; PU, H.; SUN, D.-W. Analyzing macromolecular composition of *E. coli* O157:H7 using Raman-stable isotope probing Spectrochim. **Acta Part A: Mol. Biomol. Spectrosc.**, v. 276, Article 121217, 2022.

JAYAN, H. *et al.* Mesoporous silica coated core-shell nanoparticles substrate for size-selective SERS detection of chloramphenicol Spectrochim. **Acta Part A: Mol. Biomol. Spectrosc.**, v. 284, Article 121817, 2023.

JOHNSON, M., OLALEYE, O. & KOLAWOLE. O Antimicrobial and Antioxidant Properties of Aqueous Garlic (*Allium sativum*) Extract against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*. **British Microbiology Research Journal**, v. 14, p. 1–11, 2016.

JU, J. *et al.* Application of edible coating with essential oil in food preservation. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 15, p. 2467-2480, 2018.

- JU, J. *et al.* Application of essential oil as a sustained release preparation in food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 92, p. 22-32, 2019.
- KASHYAP, P. *et al.* Eleusine indica. **Harvesting Food from Weeds**, p. 113-141, 2023.
- KÉITA, S.M. *et al.* Efficacy of essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *O. gratissimum* L. applied as an insecticidal fumigant and powder to control *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera: Bruchidae), **Journal of Stored Products Research**, Volume 37, Issue 4, p. 339-349, 2001.
- KHAN, H.A.A.; KHAN, T. Efficacy of entomopathogenic fungi against three major stored insect pests, *Rhyzopertha Dominica*, *Sitophilus zeamais* and *Trogoderma granarium*. **J. Stored Prod. Res.**, v. 104, 2023.
- KHAZDAIR, M. R. *et al.* Neuroprotective potency of some spice herbs, a literature review. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, v.30, p. 98-105, 2018.
- KRINSKI, D.; MASSAROLI, A.; MACHADO, M. Potencial inseticida de plantas da família Annonaceae. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, MG**, v. 36, n. 1, p. 225-242, fev. 2014.
- KRÓL, B. *et al.* Date of harvesting affects yields and quality of *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart. **J Sci Food Agric.**, v. 99, n. 12, p. 5432-5443, 2019.
- LABDELLI, F. *et al.* Insecticidal Effect of Eucalyptus Essential Oils on Mortalities of Storage Pests of Grains *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus granarius* in the Region of Tissemsilet Algeria. **Indian Journal of Agricultural Research**, v. 56, n. 6, p. 755-758, 2022.
- LAPKIN, A. A.; PLUCINSKI, P. K.; CUTLER, M. Comparative assessment of technologies for extraction of artemisinin. **Journal of Natural Products**, v. 69, n. 11, p. 1653-1664, 2006.
- LEE, K.; SHIBAMOTO, T. Antioxidant property of aroma extract isolated from clove buds [*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. Et Perry]. **Food Chemistry**, v. 74, p. 443-448, 2001.
- LEE, L. T., *et al.* Potential use of lemongrass essential oil as fungicide against *Aspergillus brasiliensis* and as post-harvest protectant of wheat. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 43, n. 1, e56763, 2021.
- LENGAI, G. M. W.; MUTHOMI, J. W.; MBEGA, E. R. Phytochemical Activity and Role of Botanical Pesticides in Pest Management for Sustainable Agricultural Crop Production. **Scientific African**, v. 7, e00239, 2020.
- LIMA, Igara de Oliveira, *et al.* Atividade fúngica de óleos essenciais sobre espécies de cândida. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, n. 2, Abr/Jun, 2006.
- LING, L.J. *et al.* Biocontrol of volatile organic compounds obtained from *Bacillus subtilis* CL2 against *Aspergillus flavus* in peanuts during storage. **Biological Control**, v. 176, 105094, 2022.

- LIU, J. *et al.* Eugenol-chitosan nanoemulsion as an edible coating: Its impact on physicochemical, microbiological and sensorial properties of hairtail (*Trichiurus haumela*) during storage at 4 °C. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 183, p. 2199-2204, 2021.
- LOPEZ-CASTILLO, L. M. *et al.* Increase of peroxidase activity in tropical maize after recurrent selection to storage pest resistance. **Journal of Stored Products Research**, v. 75, p. 47-55, 2018.
- LORENZO, M. *et al.* N₂ controlled atmosphere reduces postharvest mycotoxins risk and pests attack on cereal grains. **Phytoparasitica**, v. 48, n. 4, p. 555-565, 2020.
- LORINI, I. *et al.* Expurgo da semente de soja com fosfina e seu efeito na qualidade fisiológica – Série Sementes. Londrina: **Embrapa Soja**, 2013. 12 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 97), 1997.
- LORINI, I. *et al.* Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas. Brasília/DF: **EMBRAPA**, p. 84, 2015.
- LORINI, I. *et al.* Expurgo da semente de soja com fosfina e seu efeito na qualidade fisiológica – Série Sementes. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 12 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 97).
- LUCENA, D. C. *et al.* Biological activity of *Piper aduncum* extracts on *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) (Lepidoptera: Erebidae) and *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 89, n. 3, p. 1869-1879, 2017.
- M. MANNAA, K.D. KIM. Microbe-mediated control of mycotoxigenic grain fungi in stored rice with focus on aflatoxin biodegradation and biosynthesis inhibition. **Mycobiology**, v. 44, n. 2, p. 67-78, 2016.
- MACIEL, C. G. *Fusarium sambucinum* associados a sementes de *Pinus elliottii*: patogenicidade, morfologia, filogenia molecular e controle. **Dissertação (Mestrando em Engenharia Florestal)**, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, p. 94, 2012.
- MAGALHÃES, C.R.I. *et al.* Potencial inseticida de óleos essenciais sobre *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Rev. Bras. Pl. Med.**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 1150-1158, 2015.
- MAHENDRA, M. Y. *et al.* Estragole: A review of its pharmacology, effect on animal health and performance, toxicology, and market regulatory issues. **Iraqi Journal of Veterinary Sciences**, v. 37, n. 2, 537-546, 2023.
- MAIA, M. M. E. A atividade biológica dos óleos essenciais, sua aplicação e potencialidades. **Tese (Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas)** - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2020.

- MAISANABA, S. *et al.* New advances in active packaging incorporated with essential oils or their main components for food preservation. **Food Reviews International**, v. 33, n. 5, 2017.
- MANANDHAR, A.; MILINDI, P.; SHAH, A. An overview of the post-harvest grain storage practices of smallholder farmers in developing countries *Agriculture*, v. 8, n. 4, p. 57, 2018.
- MANDE, P.; SEKAR, N. Comparative study of chemical composition, antibacterial and antioxidant activity of essential oils isolated from the seeds of *Amomum subulatum* by using microwave extraction and hydro-distillation methods. **J. Indian Chem. Soc.**, v. 98, n. 11, Article 100201, 2021.
- MARCHESE, A. *et al.* Antibacterial and antifungal activities of thymol: a brief review of the literature. **Food Chem.**, v. 210, p. 402–14, 2016.
- MARIN, S. *et al.* Fumonisin producing strains of *Fusarium*: a review of their ecophysiology. **Journal of Food Protection, Des Moines**, v. 67, n. 8, p. 1792-1805, 2004.
- MARTÍN, I. *et al.* Fungal Pathogens and Seed Storage in the Dry State. *Plants*, v. 11, n. 22, p. 3167, 2022.
- MASYITA, A. *et al.* Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. **Food Chem.**, v. 13, p. 1-14, 2022.
- MATSUO, A. L. *et al.* α -Pinene isolated from *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) induces apoptosis and confers antimetastatic protection in a melanoma model. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.411, p.449–454, 2011.
- MEENA, N. K. & LAL, G. Spices: A novel source for insect-pest management. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 7, n. 2, p. 684–689, 2019.
- MIGUEL, M.G. Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Essential Oils: A Short Review. **Molecules**, v. 15, n. 12, p. 9252–87, 2010.
- MOSSA, A. T. H. Green Pesticides: Essential Oils as Biopesticides in Insect-pest Management. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 9, p. 354-378, 2016.
- MOTA FILHO, T.M.M. *et al.* Chemical composition of *Cymbopogon flexuosus* (Poaceae) essential oil, its insecticidal and repellency activity against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera:Curculionidae). **Int J Trop Insect Sci.**, v. 42, p. 2701–2708, 2022.
- MOURA, E.D.S. *et al.* Toxicological Stability of *Ocimum basilicum* Essential Oil and Its Major Components in the Control of *Sitophilus zeamais*. *Molecules*, v. 26, p. 6483, 2021.
- MRAVLJE, J. *et al.* Potential of rosemary hydrosol for effective growth inhibition of fungi isolated from buckwheat grains. **Acta Biologica Slovenica**, v. 65, n. 1, p. 70-79, 2022.

MUHAMMAD, A. *et al.* Pesticidal potential of some wild plant essential oils against grain pests *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) and *Aspergillus flavus* (Link, 1809), **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, p. 1, 2022.

MURRAY PR, ROSENTHAL KS, PFALLER MA. **Microbiologia Médica**. 8ª edição. Ed. Elsevier Ltda. Rio De Janeiro. 2017.

MUTLU-INGOK, A. *et al.* Antibacterial, Antifungal, Antimycotoxigenic, and Antioxidant Activities of Essential Oils: An Updated Review. *Molecules*, v. 25, p. 4711, 2020.

NAM S-Y, *et al.* The therapeutic efficacy of α -pinene in an experimental mouse model of allergic rhinitis. **Int Immunopharmacol**, v. 23, n. 1, p. 273–82, 2014.

NAM, S. *et al.* The therapeutic efficacy of α -pinene in an experimental mouse model of allergic rhinitis. **International Immunopharmacology**, v. 23, p. 273–282, 2014.

NASCIMENTO, D. M. *et al.* Óleos essenciais no tratamento de sementes. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, v. 27, p. 77-90, 2021.

NAYAK M. K. *et al.* Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: A global perspective. **Annual Review of Entomology**, v. 65, p. 333–350, 2020.

NEHA, K. *et al.* Medicinal prospects of antioxidants: A review. **Eur. J. Med. Chem.**, v. 178, p. 687–704, 2019.

NGEGBA, P.M. *et al.* Use of Botanical Pesticides in Agriculture as an Alternative to Synthetic Pesticides. *Agriculture*, v. 12, p. 600, 2022.

NIETO, G. Biological activities of three essential oils of the Lamiaceae family. **Medicines**, v. 4, n. 3, 2017.

NIKMARAM, N., *et al.* Application of plant extracts to improve the shelf-life, nutritional and health-related properties of ready-to-eat meat products. *Meat Sci.*, v. 145, p. 245-255, 2018.

NIKOLIĆ, M. *et al.* Chemical composition, antimicrobial, antioxidant and antitumor activity of *Thymus serpyllum* L., *Thymus algeriensis* Boiss. and Reut and *Thymus vulgaris* L. essential oils. **Industrial Crops and Products**, v. 52, pp. 183-190, 2014.

NUNES, J. L. S. **Colheita**. Agrolink, 2016.

<https://www.agrolink.com.br/culturas/milho/informacoes/colheita_361414.html>. Acesso em: 20 de Jun. 2024.

OKORI, F. Grain hermetic storage and post-harvest loss reduction in Sub-Saharan Africa: effects on grain damage, weight loss, germination, insect infestation, and mold and mycotoxin contamination. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 47, n. 1, p. 48-68, 2022.

OLADEJI, O. S. *et al.* Phytochemistry and pharmacological activities of *Cymbopogon citratus*: A review. **Scientific African**, v. 6, e 00137, 2019.

OLIVEIRA, C. D. *et al.* **Utilização dos óleos essenciais nos alimentos**: uma revisão. Inovação, Gestão e Sustentabilidade na Agroindústria. Congresso Internacional de Agroindústria (CIAGRO), II. Anais [...], Recife. 2021.

OLIVEIRA, C. *et al.* Armazenamento de sementes de carolina em diferentes temperaturas e embalagens. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 68-74, 2012.

OLIVEIRA, C. M. De; SABATO, E. De O. Estratégias de Manejo de *Dalbulus maidis*, para controle de enfezamentos e virose na cultura do milho. In: PAES, M.C.D.; PINHO, R.G.Von;

MOREIRA, S.G. (Eds.). Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil. Sete Lagoas, MG, p. 749-780, 2018.

OYEDEJI, Opeoluwa O *et al.* Chemical composition and antibacterial activity of the essential oils of *Callistemon citrinus* and *Callistemon viminalis* from South Africa. **Molecules**, v. 14, n. 6, p. 1990-1998, 2009.

OZCAN, U.; CHALCHAT, JEAN-CLAUDE. Essential Oil Composition of *Ocimum basilicum* L. and *Ocimum minimum* L. in Turkey. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 20, p. 223–228, 2002.

PAN, Y.; LUO, X.; GONG, P. *Spatholobi caulis*: A systematic review of its traditional uses, chemical constituents, biological activities and clinical applications. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 317, 116854, p. 1-14, 2023.

PATEIRO, M. *et al.* Application of essential oils as antimicrobial agents against spoilage and pathogenic microorganisms in meat products. **International Journal of Food Microbiology**, v. 337, Article 108966, 2021.

PAUL, A. *et al.* Disinfestation techniques for major cereals: A status report. **Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.**, v. 19, n. 3, p. 1125-1155, 2020.

PAULA, I. Q.; FERREIRA, E. B. **Utilização de técnicas de conservação de hortaliças**: um estudo de caso. **RBGE**, n. 19, p. 28-39, 2019.

PEREIRA, A. I. S. *et al.* Atividade antimicrobiana no combate as larvas do mosquito *Aedes aegypti*: Homogeneização dos óleos essenciais do linalol e eugenol. **Educacion Quimica**, v. 25, n. 4, p. 446-449, 2014.

PEREIRA, A. S., *et al.* (2018). **Metodologia da pesquisa científica**. [eBook]. Santa Maria. Ed. UAB / NTE / UFSM. Disponível em:
<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_MetodologiaPesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1> Acesso em: 23 Jun de 2024.

PEREIRA, M.M., CARDOSO, E.O. e CHAGAS, D.M.T. **Armazenamento e pragas de sementes**: revisão de literatura. **PUBVET**, Londrina, v. 3, n. 44, Ed. 105, Art. 708, 2009.

PESCHIUTTA, M.L. *et al.* New insecticide delivery method for the control of *Sitophilus zeamais* in stored maize. **J. Stored Prod. Res.**, 83, pp. 185-190, 2019.

PHILLIPS, C.A. *et al.* Identification and quantification of the antimicrobial components of a citrus essential oil vapor. **Nat. Prod. Commun.**, v. 7, p. 103–107, 2012.

PRAKASH, ANAND. *et al.* Essential oil based nanoemulsions to improve the microbial quality of minimally processed fruits and vegetables: A review. **Food Research International**, v. 111, p. 509-523, 2018.

PRIYANKKA, A.L., SHANKAR, S. Comparative evaluation of the antioxidant property value of rosemary essential oil blend soy protein based edible films with varying film thickness. **Interactions**, v. 245, p. 214, 2024.

QUINTANS-JUNIOR, L.J. *et al.* β -Cyclodextrin-complexed (-)-linalool produces antinociceptive effect superior to that of (-)-linalool in experimental pain protocols. **Basic Clin. Pharmacol. Toxicol.**, v. 113, p. 167–172, 2013.

RADÜNZ, Marjana. *et al.* Antimicrobial and antioxidant activity of unencapsulated and encapsulated clove (*Syzygium aromaticum* L.) essential oil. **Food Chemistry**, v. 276, p. 180-186, 2019.

RAMACHANDRAN, M.; BASKAR, K.; JAYAKUMAR, M. Essential oil composition of *Callistemon citrinus* (Curtis) and its protective efficacy against *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). **PLoS One**, v. 17, n. 8, 2022.

RAMADAN, G.R. *et al.* Sorption of ethanedinitrile in fumigated commodities and its impact on efficacy for *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) and *Lasioderma serricorne*, (Coleoptera: Anobiidae) control. **J. Stored Prod. Res.**, v. 86, 101573, 2020.

RANGARAJ, Vengatesan, *et al.* Natural antioxidants-based edible active food packaging: an overview of current advancements. **Food Bioscience**, v. 43, p. 101251. BV. 2021.

RATHOD, N.B. *et al.* Biological activity of plant-based carvacrol and thymol and their impact on human health and food quality. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 116, p. 733-748, 2021.

RATTAN, R. S. Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. **Crop Protection**, Amsterdã, v. 29, n. 9, p. 913-920, 2010.

REGINATO, M. P. *et al.* Boas práticas de armazenagem de grãos. In: 8° Encontro de Ensino Pesquisa e Extensão – ENEPE, UFGD/UEMS. p. 19, 2014.

REYES-JURADO, F. *et al.* Essential oils in vapor phase as alternative antimicrobials: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 10, p. 1641-1650, 2019.

- REYES-JURADO, F. *et al.* Antimicrobial activity of Mexican oregano (*Lippia berlandieri*), thyme (*Thymus vulgaris*), and mustard (*Brassica nigra*) essential oils in gaseous phase. **Industrial Crops and Products**, v. 131, pp. 90-95, 2019.
- RIBEIRO, E. P. E.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. Edgard Bullucher, 2ª ed., 2007.
- RIBEIRO-SANTOS, Regiane. *et al.* Essential oils for food application: natural substances with established biological activities. **Food and bioprocess technology**, v. 11, n. 1, p. 43-71, 2018.
- ROEL, A.R. Utilização de plantas com propriedades inseticidas: uma contribuição para o Desenvolvimento Rural Sustentável. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v.1, p. 43-50, 2001.
- RÖSNER, J.; WELLMAYER, B.; MERZENDORFER, H. *Tribolium castaneum*: a model for investigating the mode of action of insecticides and mechanisms of resistance. **Curr Pharm**, v. 26, n. 29, p. 3554–3568, 2020.
- RUFINO A.T. *et al.* Anti-inflammatory and chondroprotective activity of (+)- α -pinene: Structural and enantiomeric selectivity. **J Nat Prod.**, v. 77, n. 2, p. 264–9, 2014.
- SAGGIORATO, A.G. *et al.* Antifungal activity of basil essential oil (*Ocimum basilicum* L.): Evaluation in vitro and on an Italian-type sausage surface. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, pp. 378-384, 2012.
- SAITO, M. L.; LUCCHINI, F. Substâncias obtidas de plantas e a procura por praguicidas eficientes e seguros ao meio ambiente. Jaguariúna: EmbrapaCNPMA, p. 46, 1988.
- SAKKA, M.K.; ATHANASSIOU, C.G. Population growth of stored product insects on wheat containing wheat bugs. **J. Plant Dis. Prot.**, v. 129, n. 6, p. 1429-1436, 2022.
- SAKKAS, H. *et al.* In vitro antimicrobial activity of five essential oils on multidrug resistant Gram-negative clinical isolates. **Journal of intercultural ethnopharmacology**, v. 5, n. 3, p. 212, 2016.
- SAMADI, S. *et al.* Effect of carbon nanomaterials on cell toxicity, biomass production, nutritional and active compound accumulation in plants. **Environ. Technol. Inno**, v. 21, 101323, 2021.
- SANTOS CHS; PICCOLI RH; TEBALDI VMR. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais e compostos isolados frente aos agentes patogênicos de origem clínica e alimentar. **Rev Inst Adolfo Lutz**, v. 76, p. 1-8, 2017.
- SANTOS, Adailson da Silva. **Óleos essenciais: uma abordagem econômica e industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

- SANTOS, J. P. Controle de pragas durante o armazenamento de milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). A cultura do milho. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**. p. 257-302, 2008.
- SARANRAJ, P.; DEVI, D. Essential oil and its antibacterial properties - a review. **Life Sci. Arch.**, v. 3, p. 994-1011, 2018.
- SARTOR, R. B. Modelagem, Simulação e Otimização de uma Unidade Industrial de Extração de Óleos Essenciais por Arraste a Vapor. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Química**, UFRGS, Porto Alegre, p. 99, 2009.
- SCHMIDT M. *et al.* Impact of fungal contamination of wheat on grain quality criteria. **J Cereal Sci.**, v. 69, p. 95–103, 2016.
- SCOPEL, R. *et al.* Supercritical fluid extraction from *Syzygium aromaticum* buds: Phase equilibrium, mathematical modeling and antimicrobial activity. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 92, p. 223–230, 2014.
- SHAH, J.A. *et al.* Frass produced by the primary pest *Rhyzopertha dominica* supports the population growth of the secondary stored product pests *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum*, and *T. confusum*. **Bull. Entomol. Res.**, v. 111, n.2 p. 153-159, 2021.
- SHAKEEL M.; FAROOQ M.; NASIM W. *et al.* Environment polluting conventional chemical control compared to an environmentally friendly IPM approach for control of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in China: a review. **Environ Sci Pollut Res Int.**, v. 24, n. 17, p. 14537–14550, 2017.
- SIHAG, S. *et al.* Antioxidant properties and free radicals scavenging activities of pomegranate (*Punica granatum* L.) peels: An in-vitro study. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [s. l.], v. 42, September 2021, p. 102368, 2022.
- SIL A. *et al.* Essential oils: a boon towards eco-friendly management of phytopathogenic fungi. **J Entomol Zool Stud.**, v. 8, p. 1884–1891, 2020.
- SILEEM, T. M., MEHANY, A. L., Hassan, R. S. Fumigant toxicity of some essential oils against Red Flour Beetles, *Tribolium castaneum* (Herbst) and its safety to mammals. **Brazilian Journal of Biology**, v. 80, p. 769–776, 2020.
- SILVA, A. C. R. *et al.*, D.S. Biological Activities of α -Pinene and β -Pinene Enantiomers **Molecules**, v. 17, p. 6305-6316, 2012.
- SILVA, A. F. C. P. Pirataria de sementes e mudas. **Anuário 2013 da Associação Brasileira de Sementes e Mudanças**, p. 120, 2013.
- SILVA, F. A.; BIZERRA, A. M. C; FERNANDES, P. R. D. Testes fitoquímicos em extratos orgânicos de *Bixa orellana* L (URUCUM). **HOLOS**, v. 02, n. 34, 2018.
- SILVA, L.C. Artigo: **Fungos e Micotoxinas em Grãos Armazenados**. Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

SILVA, L.E.B. *et al.* Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1636-1657, 2020.

SILVEIRA, J. C. *et al.* Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 2038-2052, 2012.

SINGH CHOUHAN, K. B. *et al.* Critical analysis of microwave hydrodiffusion and gravity as a green tool for extraction of essential oils: Time to replace traditional distillation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 92, p. 12-21, 2019.

SKOUFOGIANNI, E.; SOLOMOU, A. D.; DANALATOS, N. G. Ecology, Cultivation and Utilization of the Aromatic Greek Oregano (*Origanum vulgare* L.): A Review., **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 47, p. 545–552, 2019.

SOARES, M. A. *et al.* Controle biológico de pragas em armazenamento: uma alternativa para reduzir o uso de agrotóxicos no Brasil. **Unimontes Científica**, v. 11, 2009.

SOUSA, P.A.S. *et al.* Novel Approach for a Controlled Delivery of Essential Oils during Long-Term Maize Storage: Clove Bud and Pennyroyal Oils Efficacy to Control *Sitophilus zeamais*, Reducing Grain Damage and Post-Harvest Losses. **Insects**, v. 14, p. 366, 2023.

SOUTO, A. L. *et al.* Plant-derived pesticides as an alternative to pest management and sustainable agricultural production : Prospects, applications and challenges. **Molecules** (Basel, Switzerland), v. 26, 2021.

SOUZA, E. L.; STAMFORD, T. L. M.; LIMA, E. O. Sensitivity of Spoiling and Pathogen food-related bacteria to *Origanum vulgare* L. (Lamiaceae) essential oil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 37, p. 527-532, 2006.

SPRÉA, R.M. *et al.* Chemical and Bioactive Evaluation of Essential Oils from Edible and Aromatic Mediterranean Lamiaceae Plants. **Molecules**, v. 29, n. 12, p. 2827, 2024.

STATHERS, T.; MVUMI, B. Challenges and Initiatives in Reducing Postharvest Food Losses and Food Waste: Sub-saharan Africa Preventing Food Losses and Waste to Achieve Food Security and Sustainability. **Burleigh Dodds Science Publishing**, p. 729-786, 2020.

STEJSKAL V. *et al.* Synthetic and natural insecticides: gas, liquid, gel and solid formulations for stored-product and food-industry pest control. **Insects**, v. 12, p. 590, 2021.

STEVANOVIĆ, Z. D. *et al.* Essential oils as feed additives—future perspectives. **Molecules**, v. 23, n. 7, p. 1-20, 2018.

STOLERU, E. *et al.* Synthesis of Bioactive Materials by In Situ One-Step Direct Loading of *Syzygium aromaticum* Essential Oil into Chitosan-Based Hydrogels. **Gels**, v. 8, n. 4, p. 20, 2022.

SULEIMAN M., RUGUMAMU C.P. Management of insect pests of stored sorghum using botanicals in Nigerian traditional stores. **J. Stored Prod. Postharvest Res**, v. 8, n. 9, p. 93, 2017.

SUN, D.-W. *et al.* Introducing reticular chemistry into agrochemistry. **Chem. Soc. Rev.**, v. 50, p. 1070-1110, 2021.

SUN, X.Q. Talking about the control of tobacco beetle in cigarette production workshop. **Technol. Innov. Appl.**, v. 12, p. 133, 2016.

SURBURG, H.; PANTEN, J. Common Fragrance and Flavor Materials: Preparation, Properties and Uses. **John Wiley & Sons: Hoboken**, NJ, USA, 2016.

TADDESE, M. *et al.* Assessment of quantitative and qualitative losses of stored grains due to insect infestation in Ethiopia. **J. Stored Prod. Res.**, v. 89, 2020.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. Surface protection and secondary defense compounds. In *Plant Physiology* (Vol. 2, pp. 320–345). The Benjamin/Cummings Redwood City, Menlo Park, Reading, New York, Don Mills, 2004.

TIAN Y. *et al.* Functional agents to biologically control deoxynivalenol contamination in cereal grains. **Front Microbiol.**; v. 7, p. 395, 2016.

TRIVEDI, A.; NAYAK, N. & KUMAR, J. Recent advances and review on use of botanicals from medicinal and aromatic plants in stored grain pest management. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 6, n. 3, p. 295–300, 2018.

TURKEZ H.; AYDIN E. In vitro assessment of cytogenetic and oxidative effects of α -pinene. **Toxicol Ind Health**, p. 1–9, 2013.

ULANOWSKA, M.; OLAS, B. Biological properties and prospects for the application of eugenol. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, p. 3671, 2021.

UMAGILIYAGE, A.L. *et al.* Antimicrobial efficacy of liposomes containing D-limonene and its effect on the storage life of blueberries. **Postharvest Biol. Technol.**, v. 128, p. 130–137, 2017.

USGC, U.S. Grains Council. A guide to distiller's dried grains with solubles (DDGS). Third Edition, 2012.

VARGAS, Rubem Mário Figueiró *et al.* The Carqueja Essential Oil Supercritical Extraction: Experiments and Modeling. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, Brazil, v. 23, n. 03, p. 375-382, 2006.

VASIREDDY, L.; BINGLE, L.E.H.; DAVIES, M.S. Antimicrobial activity of essential oils against multidrug-resistant clinical isolates of the burkholderia cepacia complex. **PLoS ONE**, v. 13, e0201835, 2018.

VECCHIA, A.D.; FORTES, R.C. Contaminação fúngica em granola comercial. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* [online]. abr./jun.2007, vol. 27, n. 2, p.324-327. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612007000200020&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 08 de Jun de 2024.

VENANCIO, A.M. Toxicidade aguda e atividade antinociceptiva do óleo essencial do *Ocimum basilicum* L. (MANJERICÃO), em *Mus musculus* (CAMUNDONGOS).

Dissertação. Pós-graduação em Medicina - Universidade Federal de Sergipe – Aracaju, p. 110, 2006.

VIEIRA, A.J. *et al.* Limonene: Aroma of Innovation in Health and Disease. **Chem. Biol. Interact.**, v. 283, p. 97–106, 2018.

VILELA, N. J. *et al.* O peso da perda de alimentos para a sociedade: o caso das hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 2, p. 142-144, 2003.

WEERAWATANAKORN, M. *et al.* Reactivity and stability of selected flavor compounds. **J Food Drug**, v. 23, p. 176, e. 90, 2015.

WEN-YAN DUAN. *et al.* Antifungal effects of carvacrol, the main volatile compound in *Origanum vulgare* L. essential oil, against *Aspergillus flavus* in postharvest wheat. **International Journal of Food Microbiology**, v. 410, 110514. ISSN 0168-1605, 2024.

WOLFFENBUTTEL, A. N. Base da química dos óleos essenciais e aromaterapia: abordagem técnica e científica. São Paulo: Roca, 2010.

WORKINEH, W.; ENYEW, M. Review the extent and cause of post-harvest loss of fruits and vegetables in Ethiopia. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**. v. 11, n. 13, p. 1–22, 2021.

XIANG, FANGZHI *et al.* The Efficacy of Composite Essential Oils against Aflatoxigenic Fungus *Aspergillus flavus* in Maize. **Toxins** vol. 12, n. 9, p. 562, 2020.

XIONG, W. *et al.* Latrophilin participates in insecticide susceptibility through positively regulating CSP10 and partially compensated by OBPC01 in *Tribolium castaneum*. **Pestic Biochem Physiol**, v. 159, p. 107–117, 2019b.

XIONG, W. *et al.* CYP4BN6 and CYP6BQ11 mediate insecticide susceptibility and their expression is regulated by Latrophilin in *Tribolium castaneum*. **Pest Manag Sci**, v. 75, n. 10, p. 2744–2755, 2019a.

YUAN, K. *et al.* Separation of 1, 8-Cineole and terpenes by Liquid-liquid extraction with green alkanediols. **J. Mol. Liq.**, v. 350, Article 118516, 2022.

ZENGIN, G. *et al.* New insights into the in vitro biological effects, in silico docking and chemical profile of clary sage – *Salvia sclarea* L. **Comput. Biol. Chem.**, v. 75, p. 111–119, 2018.

ZHANG, L. *et al.* Identification of rice-weevil (*Sitophilus oryzae* L.) damaged wheat kernels using multi-angle NIR hyperspectral data. **J. Cereal Sci.**, v. 101, Article 103313, 2021.

ZHAKIPBEKOV, K. *et al.* Antimicrobial and Other Pharmacological Properties of *Ocimum basilicum*, *Lamiaceae*. **Molecules**, v. 29, p. 388, 2024.

ZHANG, X. *et al.* Effect of mulberry leaf extracts on color, lipid oxidation, antioxidant enzyme activities and oxidative breakdown products of raw ground 101 beef during refrigerated storage. **Journal of Food Quality**, v. 39, n. 3, p. 159-170, 2016.

ZIMMERMANN, R. C. *et al.* Insecticide activity and toxicity of essential oils against two stored-product insects. **Crop Protection**, p. 144-144, 2020.