



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CECA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROTEÇÃO DE PLANTAS

Thiago Alves Pimenta

**EFEITO DO ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO E SEU COMPOSTO MAJORITÁRIO
SOBRE O COMPORTAMENTO, ECOLOGIA E NUTRIÇÃO DE *Sitophilus zeamais* L.
E *Callosobruchus maculatus***

Rio Largo, Alagoas
2022

THIAGO ALVES PIMENTA

**EFEITO DO ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO E SEU COMPOSTO MAJORITÁRIO
SOBRE O COMPORTAMENTO, ECOLOGIA E NUTRIÇÃO DE *Sitophilus zeamais* L.
E *Callosobruchus maculatus***

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do grau de Doutor em Proteção de Plantas

Orientador (a): Prof. Dr. Roseane Cristina Predes Trindade

Rio Largo, Alagoas
2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

P644e	Pimenta, Thiago Alvez Efeito do óleo essencial de cravos e seu composto majoritário sobre o comportamento, ecologia e nutrição de <i>Sitophilus zeamais</i> L. E. <i>Callosobruchus maculatus</i>. / Thiago Alves Pimenta – 2022. 83 f.; il. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) - Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2023. Orientação: Dr^a. Roseana Cristine Predes Trindade Inclui bibliografia 1. Gorgulhos - Brasil. 2. Eugenol. 3. Manejo de pragas. I. Título CDU: 633.1
-------	--

THIAGO ALVES PIMENTA

**EFEITO DO ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO E SEU COMPOSTO MAJORITÁRIO
SOBRE O COMPORTAMENTO, ECOLOGIA E NUTRIÇÃO DE *Sitophilus zeamais* L.
E *Callosobruchus maculatus***

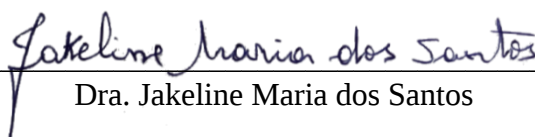
Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do grau de Doutor em Proteção de Plantas.

Aprovada em: 17/08/2022

BANCA EXAMINADORA

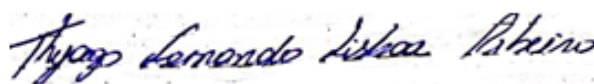
Documento assinado digitalmente
gov.br ROSEANE CRISTINA PREDES TRINDADE
Data: 07/03/2023 18:27:25-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Orientador (a): Prof. Dra. Roseane Cristina Predes Trindade
CECA-UFAL


Dra. Jakeline Maria dos Santos



Prof. Dr. Mauricio Silva de Lima
CECA-UFAL



Dr. Thyago Fernando Lisboa Ribeiro
SEDUC-AL

Rio Largo, Alagoas
2022

DEDICO

Primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida,
autor de meu destino, meu guia, socorro, presente na
hora da angústia, a painho, mainha e meu irmão, sem
eles eu não teria forças para essa longa jornada

AGRADECIMENTOS

Á Deus, o que seria de mim sem a fé que eu tenho nele, por sempre iluminar meu caminho, onde busquei forças no decorrer dessa caminhada;

A minha formação como profissional não poderia ter sido concretizada sem a ajuda de meus amáveis e eternos pais Carlos Jorge Carneiro Pimenta e Francisca Ozenir Estevam Alves que, no decorrer da minha vida, proporcionaram-me, além de extenso carinho e amor, os conhecimentos da integridade. Que se dedicaram sem renúncia, esforços, compreensão, orientação e todo incentivo, por ter acreditado na minha capacidade de vencer. Por essa razão, gostaria de dedicar e reconhecer a vocês, minha imensa gratidão e sempre amor.

A meu irmão Wisy Alves Pimenta, que permaneceu sempre ao meu lado, nos bons e maus momentos, me ajudou durante todo o percurso de minha vida pessoal e acadêmica, compreendendo-me e ensinando. E sempre servindo de exemplo.

Os meus queridos avôs maternos e paternos, e todos os familiares que sempre acreditaram e me desejaram acontecer esta conquista;

Agradeço a Joicy Barbosa, obrigado pelo teu carinho, tua alegria, tua atenção, tua vibração com as minhas conquistas e teu ombro em cada momento difícil que você ajudou a atravessar, por ter aguentado todo meu drama, suportado meu estresse principalmente.

Aos Professores e funcionários da UFAL, sou grato à cada membro dessa instituição de ensino. A Prof. Dra. Roseane Cristina Predes Trindade pela orientação, apoio e confiança, e por toda paciência nesse período.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade de participar e pelas contribuições pessoais acerca da dissertação.

Agradecimento especial a Lilian, Aleska, Joais, Caroline, Jessica, Georgia, Analu, Bruno, pela amizade, dedicação, apoio, oportunidades, pelos seus conselhos e sugestões,

Agradeço a equipe LECAP que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

Meu muito obrigado!

**EFEITO DO ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO E SEU COMPOSTO MAJORITÁRIO
SOBRE O COMPORTAMENTO, ECOLOGIA E NUTRIÇÃO DE *Sitophilus zeamais* L.
E *Callosobruchus maculatus***

RESUMO

A cultura do milho e do feijão se destacam como os grãos mais produzidos e exportados do Brasil, desempenhando importância tanto social como econômica, presente na alimentação humana, e na animal devido seu rico valor nutricional. Com o aumento populacional houve crescimento na demanda, destacando a importância do armazenamento de grãos, havendo necessidade de medidas fitossanitárias para minimizar as perdas durante este período, por pragas e doenças que possam reduzir sua qualidade e seu valor comercial. Assim, o presente estudo objetivou avaliar a bioatividade do óleo essencial de cravo e o seu modo de ação no manejo de pragas de grãos armazenados. A pesquisa foi desenvolvida no laboratório de Controle Alternativo de Pragas-LECAP, no Laboratório de Fisiologia de Insetos- UFRPE e no Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais- LPqRN-UFAL, Campus Maceió/AL. Por meio da cromatografia foi identificado o eugenol sendo o composto majoritário do óleo de cravo da Índia, tanto o óleo essencial como seu composto majoritário apresentaram efeito por contato, fumigação e repelência sobre o *Sitophilus zeamais* e o *Callosobruchus maculatus* em diferentes concentrações letais. Além do composto majoritário ser letal em diferentes concentrações, também promoveu alterações nos parâmetros nutricionais de *S. zeamais*.

Palavra-chave: *Syzygium aromaticum*; Eugenol; Gorgulho

**EFFECT OF CLOOVE ESSENTIAL OIL AND ITS MAJOR COMPOUND ON THE
BEHAVIOR, ECOLOGY AND NUTRITION OF *Sitophilus zeamais* L. AND
*Callosobruchus maculatus***

ABSTRACT

The culture of corn and beans stand out as the most produced and exported grains in Brazil, playing both social and economic importance, present in human and animal food due to its rich nutritional value. With the population increase, there was an increase in demand, highlighting the importance of grain storage, with the need for phytosanitary measures to minimize losses during this period, due to pests and diseases that can reduce their quality and commercial value. Thus, the present study aimed to evaluate the bioactivity of clove essential oil and its mode of action in the management of stored grain pests. The research was developed in the Laboratory of Alternative Pest Control-LECAP, in the Laboratory of Physiology of Insects-UFRPE and in the Laboratory of Research in Natural Resources-LPqRN-UFAL, Campus Maceió/AL. By means of chromatography, eugenol was identified as the major compound of clove oil, both the essential oil and its major compound showed effect by contact, fumigation and repellency on *Sitophilus zeamais* and *Callosobruchus maculatus* at different lethal concentrations. In addition to the majority compound being lethal at different concentrations, it also promoted changes in the nutritional parameters of *S. zeamais*.

Keyword: *Syzygium aromaticum*; Eugenol; Weevil

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química do óleo essencial <i>Syzygium aromaticum</i> , identificação a partir de análise por GC-MS e confirmação com compostos padrões.	41
Tabela 2: Toxicidade por efeito de contato do óleo essencial cravo da índia e o composto sintético eugenol sobre o <i>Sitophilus zeamais</i>	42
Tabela 1: Toxicidade por efeito de contato do óleo essencial cravo da índia e o composto sintético eugenol sobre o <i>Callosobruchus maculatus</i>	68
Tabela 1: Estimativas das Concentrações letais por efeito de fumigação do óleo essencial cravo da índia e o composto sintético eugenol sobre o <i>Callosobruchus maculatus</i>	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cromatograma do óleo essencial de cravo-da-índia, a partir de análise em CG MS.....	41
Figura 2. Efeito repelente óleo essencial cravo da índia (A) e Eugenol (B) sobre <i>Sitophilus zeamais</i>	43
Figura 3. Emergência de <i>Sitophilus zeamais</i> sob tratamento com Eugenol (A) e óleo essencial cravo da índia (B).....	44
Figura 4. Resposta comportamental de <i>Sitophilus zeamais</i> para extrato de óleo de cravo a 100 ppm (n=40) e 1000 ppm (n=40) em olfatômetro de dupla escolha. (*) indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Qui-quadrado 100 ppm (GL: 1, X2: 5,7166; P= 0,0168); 1000ppm (GL: 1, X2: 4,3074; P= 0,0379). E Resposta comportamental para composto eugenol diluído a 1000 ppm em olfatômetro de dupla escolha. (*) indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Qui-quadrado (GL=1; X2= 4,4234; P= 0,0354).	45
Figura 5. Quantidade de proteínas (A), lipídios (B), glicogênio (C) e açúcar total (D) (médias $\pm$ erro padrão) de <i>Sitophilus zeamais</i> submetidas ao ensaio de toxicidade por contato tópico nas concentrações Letais (25-50-75), do composto eugenol por 24 horas. Barras seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05)	47
Figura 6. Quantidade de proteínas (A), lipídios (B), glicogênio (C) e açúcar total (D) (médias $\pm$ erro padrão) de <i>Sitophilus zeamais</i> submetidas ao ensaio de toxicidade por contato tópico nas concentrações Letais (25-50-75), do composto eugenol por 48 horas. Barras seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05)	49
Figura 7. Quantidade de proteínas (A), lipídios (B), glicogênio (C) e açúcar total (D) (médias $\pm$ erro padrão) de <i>Sitophilus zeamais</i> submetidas ao ensaio de toxicidade por contato tópico nas concentrações Letais (25-50-75), do óleo de cravo da índia por 24 horas. Barras seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).....	50
Figura 8. Quantidade de proteínas (A), lipídios (B), glicogênio (C) e açúcar total (D) (médias $\pm$ erro padrão) de <i>Sitophilus zeamais</i> submetidas ao ensaio de toxicidade por contato tópico nas concentrações Letais (25-50-75), do óleo de cravo da índia por 48 horas. Barras seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05)	52
Figura 9. Efeito fagoinibidor do eugenol e do óleo de cravo da índia sobre <i>Sitophilus zeamais</i>	53
Figura 1. Índice de comportamento de <i>Callosobruchus maculatus</i> (n=16) sob óleo essencial cravo da índia (A) e composto eugenol (B). Repelente (IC < 1); Neutro (IC = 1); Atraente (IC > 1).....	
Figura 2. Oviposição de <i>Callosobruchus maculatus</i> em feijão-caupi sob tratamento com óleo essencial cravo da índia (A) e composto eugenol (B).....	71

Figura 3. Emergência de <i>Callosobruchus maculatus</i> machos (A) e fêmeas (B) em feijão-caupi sob tratamento com óleo essencial cravo da índia e com Eugenol. Dados transformado em $\sqrt{x+0,5}$. Modelo de regressão quadrática polinomial.....	72
Figura 4. Resposta eletroantenografica de antena de <i>Callosobruchus maculatus</i> para composto eugenol (A) presente no extrato de óleo de cravo diluído a 100 ppm em hexano e para composto eugenol (B) em extrato diluído a 100 ppm em hexano.....	73
Figura 5. Resposta comportamental de <i>Callosobruchus maculatus</i> (n=40) para extrato de óleo de cravo a 100 wppm e para composto eugenol diluído a 100 ppm em olfatômetro de dupla escolha. (*) indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Qui-quadrado (GL: 1, X2: 4,4234; P= 0,0354).....	74

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	13
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1.	Grãos Armazenados	15
2.2.	Pragas de Grãos Armazenados	16
2.3.	Controle de pragas de grãos armazenados	17
2.4.	Óleos essenciais no manejo de <i>Sitophilus zeamais</i> e <i>Callosobruchus maculatus</i>	18
2.5.	Potencial inseticida do óleo essencial de Cravo da Índia e eugenol, o seu composto majoritário	20
2.6.	Requerimentos nutricionais	21
2.7.	Efeito inseticida sobre a nutrição do inseto	22
2.8.	Parâmetros olfativos dos insetos	22
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	24
3.	BIOATIVIDADE, MECANISMOS BIOQUÍMICOS E OLFATIVOS DO ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO E SEU COMPOSTO MAJORITÁRIO EUGENOL EM <i>Sitophilus zeamais</i> L. (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)	34
3.1.	INTRODUÇÃO	35
3.2.	MATERIAL E MÉTODOS	36
3.2.1.	Criação do <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky 1855 (Coleoptera: Curculionidae)	36
3.2.1.	Obtenção do óleo essencial e do eugenol, análise cromatográfica, espectrometria de massas e identificação química do óleo essencial de <i>Syzygium aromaticum</i>	37
3.2.2.	Teste de toxicidade por contato com óleo de cravo e eugenol	38
3.2.3.	Teste de fumigação com óleo de cravo e eugenol sobre <i>Sitophilus zeamais</i>	38
3.2.4.	Teste de repelência sobre <i>Sitophilus zeamais</i>	38
3.2.5.	Bioensaio em olfatômetro Y	39
3.2.6.	Ensaio Bioquímicos	39
3.2.7.	Extração e Quantificação das Proteínas Solúveis Totais	40
3.2.8.	Extração e Quantificação de Lipídio, Açúcar Total e Glicogênio	40
	RESULTADOS	42
3.3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.3.1.	Análise cromatográfica, espectrometria de massas e identificação química do óleo essencial de <i>Syzygium aromaticum</i>	42
3.3.2.	Teste de toxicidade por contato com óleo de cravo e eugenol	43
3.3.3.	Teste de repelência sobre <i>Sitophilus zeamais</i>	44

3.3.4.	Teste de Emergência de <i>Sitophilus zeamais</i> submetido ao tratamento com Eugenol e óleo essencial de cravo da Índia	45
3.3.5.	Teste de olfatosmetria em tubo Y	46
3.3.6.	Ensaio Bioquímico.....	47
3.3.7.	Efeito Fagocinibidor	54
3.4.	CONCLUSÕES	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	57
4.	COMPORTAMENTO REPELENTE E RESPOSTA OLFATIVA DE <i>Callosobruchus Maculatus</i> . (Fabricus) (COLEOPTERA: BRUCHIDAE) PARA O ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO E SEU COMPOSTO MAJORITÁRIO EUGENOL	63
4.2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	65
4.2.1.	Criação de <i>Callosobruchus maculatus</i> Fabr. 1775 (Coleoptera: Bruchidae)	65
4.2.2.	Obtenção, análise cromatográfica, espectrometria de massas e identificação química do óleo essencial de <i>Syzygium aromaticum</i>	66
4.2.3.	Teste de toxicidade por contato com óleo de cravo e eugenol	66
4.2.4.	Teste de fumigação	67
4.2.5.	Teste Repelência	67
4.2.6.	Oviposição e Emergência.....	68
4.2.7.	Cromatografia gasosa acoplada a eletroantennografia (CG- EAG).....	68
4.2.8.	Teste de olfatosmetria em tubo Y	68
4.3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.3.1.	Teste de toxicidade por contato.....	69
4.3.2.	Teste de Fumigação	70
4.3.3.	Teste Repelência	72
4.3.4.	Teste de Oviposição	73
4.3.5.	Teste de Emergência	74
4.3.6.	Cromatografia gasosa acoplada a eletroantennografia (CG- EAG).....	75
4.3.7.	Bioensaio em olfatômetro Y.....	75
4.4.	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1. INTRODUÇÃO GERAL

A capacidade de produção agrícola é uma das principais bases da economia do Brasil, com destaque na produção de grãos, por ser considerado o quarto maior produtor do mundo, destacando a maior produção de grãos nos estados Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul, sucesso esse, que se dá principalmente, pelo clima favorável, a sua grande extensão territorial, e inclusão de novas tecnologias para manejo da lavoura (LOURENÃ et al., 2020). De acordo com o 2º Levantamento da safra de grãos 2020/21, divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a produção chegou a 268,9 milhões de toneladas de grãos, correspondendo a 11,9 milhões de toneladas, 4,6% a mais do que a safra de 2019/2020 (CARNEIRO, 2020).

Porém, este desempenho não está sendo acompanhado pela capacidade estática de armazenamento do país, que desempenha grande importância para a comercialização de produtos agrícolas, já que, ao utilizar-se do processo de armazenagem, o produtor tem a possibilidade de negociar os produtos em períodos de entressafra, com preços mais atrativos, reduzindo os custos diretos e indiretos, que, no período de safra, em geral, são muito altos (SILVA NETO et al., 2019).

Por estarem sujeitos ao ataque de agentes patogênicos e de pragas que afetam severamente a saúde, a qualidade e a durabilidade dos grãos, bem como, podendo ocasionar perdas significativas para o produtor, o armazenamento, é visto como uma das etapas mais importantes e indispensáveis dentro da pós-colheita de grãos e sementes, pois, além de armazenar, mantém a qualidade dos grãos durante este período (SILVA et al., 2021).

Uma das alternativas, mais utilizadas para o controle de insetos-pragas em grãos armazenados é o controle químico, por meio da utilização da técnica de fumigação, que embora seja considerado eficaz e confiável, os agrotóxicos sintéticos, apresentam desvantagens, como o alto custo, não biodegradável e os efeitos prejudiciais aos seres humanos e ao meio ambiente. Diante deste fato, os agricultores vem sendo incentivados a procurarem uma alternativa que fosse eficiente, ecológica e economicamente viável (SINGH et al., 2021).

Em busca de um controle que não deixe resíduos, que cause um menor ou nenhum impacto ambiental, diversas pesquisas com inseticidas botânicos têm sido desenvolvidas e alguns produtos formulados a partir de plantas, já tem sua ação inseticida comprovada, agindo de forma atraente ou repelente, sendo assim uma alternativa para o manejo integrado de pragas de grãos armazenados (SILVA; DE FARIAS. 2020).

Os óleos essenciais possui componentes que são metabólitos secundários que podem ser extraídos de diversas partes das plantas, possuem composição química complexa pela presença de compostos bioativos e garantem aos vegetais vantagens adaptativas no meio em que estão inseridos, seus constituintes podem agir sobre o sistema nervoso dos insetos, causando efeitos toxicológico e repelente, alterando o desenvolvimento do inseto, reduzindo sua alimentação (ALBIERO et al., 2020; SILVA et al., 2019).

Pesquisas comprovam a ação inseticida, derivada da extração do óleo essencial de diferentes espécies vegetais, em coleópteras a mortalidade e a ação repelente são demonstradas por pesquisadores utilizando óleos essenciais de *Cinnamodendron dinisii* Schwanke (Canellaceae); *Schinus molle* L (Anacardiaceae); *Lippia alba* (Verbenaceae); *Cymbopogon citratus* (Poaceae); *Croton blanchetianus* (Euphorbiaceae) (VEDOVATTO, F., et al 2015; ARIAS et al.,2017; GUERRA et al., 2019; SILVA et al., 2020).

Os óleos essenciais extraídos do cravo da índia têm despertado particular interesse por causa de suas promissoras atividades inseticidas contra várias pragas de produtos armazenados, que comprovadamente controlam adequadamente os insetos pragas, como o gorgulho do milho *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) e o *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae, esse óleo essencial têm ação neurotóxica tanto como fumigantes quanto como inseticidas de contato e seus metabólitos podem atuar sobre uma variedade de alvos moleculares, incluindo a inibição da acetilcolinesterase (VITERI JUMBO et al., 2018).

Diante do exposto objetivou-se avaliar a bioatividade do óleo essencial de cravo e o seu modo de ação no manejo de pragas de grãos armazenados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Grãos Armazenados

A crescente demanda por alimento devido ao aumento populacional, torna relevante o tema produção e armazenamento de grãos tanto em nível nacional como internacional, em busca de um melhor aproveitamento, dando maior durabilidade e mantendo suas características e qualidades primárias, evitando assim, perdas com um melhor retorno financeiro para o produtor (BARONI et al., 2017).

O Brasil se destaca no cenário mundial, quando se trata de agricultura, devido sua crescente expansão na produção de grãos, principalmente por causa dos investimentos realizados em pesquisas e tecnologia na produção agrícola, terras disponíveis, condições climáticas, distância entre o local da produção e o seu destino final, políticas públicas macro e microeconômicas, além da capacidade de trabalho e adaptabilidade dos produtores aos novos desafios, ajudando a contribuir para a expansão da balança comercial (LEITÃO et al., 2020).

Destacando-se a produção de milho e feijão, que apresenta uma forte dispersão geográfica, sendo produzido em praticamente todo o território nacional, implicando diretamente na importância social e econômica, associada também a modernização da agricultura, o Brasil destaca-se por produzir uma maior quantidade com uma melhor qualidade de grãos (PELEGRINI et al., 2017). Sendo o terceiro produtor mundial de milho, com uma produção para a safra 2020/21 de 106.413,5 mil toneladas, representando um incremento de 3,7% em relação ao alcançado na safra passada (CONAB, 2021), perdendo apenas para os Estados Unidos e China. O aumento das áreas de milho se dá pela maior rentabilidade ao agricultor em um menor espaço de tempo, como também, pela valorização do grão, devido a redução das tarifas de importação, impulsionando a produção, colocando o país a um patamar de maior competitividade, tornando o milho como segundo grão mais exportado do país, perdendo apenas para soja (SOUZA et al., 2018).

Em relação a cultura do feijão, o Brasil é o 4º maior produtor do mundo, mas não está entre os maiores exportadores, a maior parte da produção é destinada ao consumo interno. A produção 2020/21 foi de 1.003,5 mil toneladas, representando uma redução de 9,2% em relação ao volume obtido em 2019/20 (CONAB 2021). O seu cultivo é realizado em todo território brasileiro desempenhando grande importância socioeconômica, como importante fonte de proteína, devido seu rico valor nutricional (SILVA et al., 2018). Silva et al. (2019) destaca o cultivo do feijão caupi na região Nordeste, por sua capacidade de produzir sob condições de

déficit hídrico além de apresentar baixo custo de produção, alto valor nutritivo, e um ciclo curto de produção.

A capacidade estática de armazenamento de grãos não está sendo suficiente para suprir a demanda, devido ao crescimento da produção no país, pois além de produzir, é de fundamental importância que seja feito o armazenamento de forma correta para conseguir minimizar as perdas de grãos, juntamente com prejuízos financeiros e logísticos (CARVALHO et al., 2017). Outrossim, as perdas causadas pelos insetos durante o armazenamento têm ocupado posição de destaque na redução da qualidade dos grãos, podendo equivaler ou até mesmo superar, aquelas provocadas pelas pragas que atacam a cultura no campo ocasionando relevantes perdas econômicas (PROCÓPIO et al., 2015).

2.2. Pragas de Grãos Armazenados

Com o aumento da produção global de grãos, fica evidenciado a necessidade de investimentos, manutenção e gestão eficaz nos armazéns, para melhoria das estruturas de apoio ao sistema pós-colheita. O processo de armazenagem é um grande gargalo, pois influencia diretamente na negociação por melhores preços de mercado, sendo necessário a garantia da viabilidade dos grãos até a venda (ZIEGLER et al., 2021).

Menegaes et al. (2020), relatam que grãos em condições de armazenamento estão sujeitos a deterioração, cujo grau de perda qualitativa ou quantitativa, está relacionado com diversos fatores bióticos e abióticos, assim, o armazenamento de grãos tem como finalidade preservar as qualidades destes atributos, mantendo-as íntegra e viável por períodos prolongados.

Entre os fatores bióticos, os insetos são responsáveis por perdas massivas de grãos mesmo após a secagem, destacando as ordens Lepidoptera e Coleoptera que causam as maiores infestações e perdas em grãos armazenados (PEIXOTO et al., 2016).

Dentre os coleópteros o gorgulho do milho, *S. zeamais*, os adultos medem em torno de 2,0 a 3,5 mm de comprimento, são de coloração castanho-escuro, com manchas mais claras nos élitros, possui cabeça projetada à frente, na forma de rostro curvado, as larvas são ápodas e possuem coloração amarelo-clara, com a cabeça de cor marrom-escuro, e as pupas são brancas. O período de postura é de 104 dias, e o número médio de ovos por fêmea é de 282. O período de incubação oscila entre 3 e 6 dias, e o ciclo de ovo a emergência de adultos é de 34 dias, é considerado uma das principais pragas da cultura do milho, com distribuição cosmopolita, característico de infestação cruzada, que é a sua capacidade de infestar tanto no campo como

no armazenamento, além de apresentar hábito polífago, atacando uma gama de fontes alimentares (ATANASOVA, D. 2020; OLIVEIRA et al., 2020).

Devido ao seu elevado potencial biótico, sua capacidade de sobrevivência em grandes profundidades de massa de grãos, além de atacar o grão tanto na fase larval quanto na fase adulta, acarreta perdas quantitativas e qualitativas ao produto, uma vez que o *S. zeamais* afeta diretamente deteriorando a massa de grãos, ocasionando problemas na comercialização, além de provocar redução na taxa de germinação, aumento no teor de água dos grãos, redução no teor de carboidratos e fibra alimentar total, como também, as galerias abertas favorecem a incidência de fungos filamentosos (GASPAROTTO et al., 2020).

Silva et al. (2021), destacam outra cultura de importância socioeconômica que também está sujeita ao ataque de pragas de grãos de armazenamento, o feijão caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae), que é um componente básico da dieta alimentar de grande parte da população brasileira, por seu alto teor em proteínas, além de fibras e minerais, cujo caruncho, *C. maculatus*, é considerado umas das principais pragas dessa cultura em condições de armazenamento.

O inseto adulto mede aproximadamente 3 mm de comprimento, apresentando élitros marrom-escuros com duas manchas pretas, que em repouso formam um “X”, as larvas são do tipo curculioniforme, as fêmeas em geral maiores que os machos, apresentam quatro manchas claras bem definidas no pronoto, o período de incubação dura de três a cinco dias, a fase larval é de 14 dias, e a de pupa seis dias e os adultos têm longevidade de sete a nove dias (NWOSU et al., 2020).

Seu ataque tem início no campo, mas se intensifica no período de armazenagem causando os maiores danos qualitativo e quantitativos. Sua oviposição ocorre na superfície dos grãos, posteriormente ocorre a abertura de galerias pela penetração e desenvolvimento das larvas, ocasionando a redução de peso, uma desvalorização de valor comercial, redução do valor nutritivo, influenciando diretamente na capacidade de germinação (REDA et al., 2020).

O controle desses insetos é de extrema necessidade, para uma maior durabilidade e qualidade dos grãos no período de armazenamento, sendo os principais métodos utilizados a fumigação e a proteção de grãos por meio de inseticidas de contato. Porém, sabe-se que alguns desses inseticidas químicos podem ser prejudiciais aos seres humanos e ao meio ambiente, e com isso, há uma tendência global de reduzir seu uso, encontrando alternativas ecologicamente corretas (GOLDEN et al., 2018).

2.3. Controle de pragas de grãos armazenados

Com a finalidade de manter a qualidade e o valor comercial dos grãos armazenados, faz-se necessário o controle de insetos pragas que são responsáveis por perdas significativas neste período, utilizando-se alguns métodos de controle como: o método físico que consiste na manipulação de temperatura, umidade relativa do ar, atmosfera controlada, pós inertes, remoção física, radiação, luz e som; já no método químico utiliza-se inseticidas, aplicados via nebulização, pulverização, atomização, por fumigação ou expurgo; e no método biológico ocorre a liberação de predadores, parasitoides ou patógenos para controle da população de pragas (VASCONCELLOS et al., 2020).

Além disso, deve-se considerar o custo do controle destas pragas, o menor rendimento das colheitas, o valor depreciado dos produtos pelo efeito do dano causado pelas pragas, aliado ao custo das medidas de controle que significam para o agricultor um custo maior de produção e uma redução importante em seus lucros (OLIVEIRA et al., 2020)

Um dos métodos mais aplicados em pragas de grãos armazenados é o químico, por meio do controle utilizando a técnica denominada de fumigação que consiste no tratamento de grãos através de um gás inseticida, todavia no decorrer do tempo alguns produtos tiveram seu uso proibido em consequência da sua persistência no meio ambiente, tal como o seu acúmulo do tecido gorduroso dos animais (ZHANG et al., 2021). Ao decorrer, foram introduzidos outros produtos no setor de armazenamento, tais como os organofosforados fenitrothion e pirimifós-metílico e os piretroides deltametrina, bifentrina e permetrina (SANTOS et al., 2009).

Saeed et al. (2020), destacam a facilidade de aplicação, rapidez de ação e economia dos produtos químicos utilizados em pragas de grãos armazenados, todavia este método de controle é responsável por permanência de resíduos químicos nos grãos e derivados, alta periculosidade para aplicadores e trabalhadores, além de um alto risco de contaminação do meio ambiente, e devido ao seu uso contínuo, algumas vezes de forma errada seleciona populações resistentes dos insetos pragas.

Devido as contínuas aplicações de altas doses de inseticidas, favoreceu o desenvolvimento de insetos resistentes a alguns produtos químicos. Diante deste cenário e a preocupação dos efeitos prejudiciais destes produtos a saúde do consumidor, aos animais, aos danos causados no meio ambiente, pela busca por alimentos sem resíduos e de uma melhor qualidade tem levado pesquisadores a desenvolver alternativas atóxicas e ecologicamente corretas para o controle de insetos-pragas (JAMPÍLEK et al., 2020).

2.4. Óleos essenciais no manejo de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) e *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Chrysomelidae: Bruchinae)

Hussein et al. (2017), destacam o efeito inseticida de derivados de plantas que possuem uma gama de compostos ativos, não sendo tóxicos para mamíferos e humanos, dentre estes, destaca-se os óleos essenciais de plantas, podendo ser atraentes ou repelentes aos insetos, servindo assim como alternativa no controle das populações de insetos-praga.

Os óleos essenciais consistem em misturas de substâncias voláteis principalmente por terpenoides que são produtos de metabolismo secundário e podem ser encontrados em folhas, caules, cascas, flores, raízes, frutas onde sua composição é variável entre as espécies de plantas. Algumas exibem toxicidade para insetos causando efeitos letais e subletais, como repelência, irritabilidade, fagoinibição e atividade biocida (PLATA-RUEDA et al., 2018).

Silva e Farias (2020), observaram um maior efeito inseticida por contato sobre *Sitophilus* spp. quando aplicado diretamente no grão utilizando os óleos essenciais de *Cymbopogon citratus* (Capim-limão), *Cymbopogon nardus* (citronela) e *Caryophyllus racemosus* (Pimenta racemosa), quando aplicado de forma indireta provocou mortalidade de 50% dos indivíduos. Albiero et al. (2019) comprovaram a mortalidade de *Sitophilus* spp. submetidos aos óleos essenciais de *Anethum graveolens* (endro) e *Azadirachta indica* (nim) a eficácia de *A. graveolens* pode ser explicada pelo seu componente majoritário, o dilapiol, em ação conjunta com outros monoterpenos, decorrente da inibição da enzima acetilcolinesterase nos insetos, afetando sua atividade muscular e levando-os à morte.

Rodrigues et al. (2019) afirmam o efeito inseticida e repelente do óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* (alecrim-do-campo) em *S. zeamais*. Araújo et al. (2019) comprovaram que os óleos essenciais de *Foeniculum vulgare* (erva-doce), e *Ocimum basilicum* (manjerição) são tóxicos em concentrações mais baixas e, portanto, promissor, não apenas via fumigação, mas contato e ingestão, para o controle de *S. zeamais*, os mesmos autores demonstraram que o óleo de *Piper hispidinervum* (Pimenta Longa) reduziu o número de adultos que emergiram de grãos de milho previamente infestados com *S. zeamais*, indicando um efeito curativo deste óleo.

Moura Guerra et al., (2019) observaram que os óleos essenciais de *C. citratus* (Capim-limão); *L. Alba* (erva cidreira) e *Plectranthus amboinicus* (hortelã-grande) apresentaram toxicidade aguda tóxica para o gorgulho *C. maculatus*, além de apresentar efeito repelente de 60 a 100%. Todas as concentrações testadas do óleo essencial de *Lippia sidoides* (Alecrim-pimenta) apresentaram ação inseticida, foram repelentes e eficientes no controle de *C. maculatus* (SANTOS et al., 2018). Destacam a ação fumigante dos óleos essenciais de *S. aromaticum* (cravo da Índia) e *Cinnamomum zeylanicum* (Caneleira-verdadeira) em *C. maculatus* em feijão-caupi armazenado (OLIVEIRA et al., 2017).

2.5. **Potencial inseticida do óleo essencial de *Syzygium aromaticum* (Myrtaceae) e eugenol, o seu composto majoritário**

O craveiro da índia é uma árvore que pertence à família *Myrtaceae* e tem origem nas Ilhas Molucas com copa alongada de ciclo perene, que cresce a uma altura que varia de 10 a 12 metros, possui folhas ovais grandes e flores de cor vermelha que se apresentam em numerosos grupos de cachos terminais, essa planta vive por cerca de 100 anos, a família possui 140 gêneros e cerca de 3000 espécies, tendo como característica particular sua riqueza em óleos essenciais (GOMES et al., 2018)

O cravo da índia é o botão floral do craveiro, de onde é extraído o óleo, sua espécie tem sido explorada principalmente para extração industrial do óleo essencial obtido a partir dos botões florais, folhas e outras partes é pouco produzido, porém a sua procura é alta (COSTA et al., 2011). *S. aromaticum* é uma espécie com potencial inseticida comprovada e bastante utilizada em pesquisas científicas, que se destaca por sua alta capacidade de produção de óleo, além de sua elevada concentração de eugenol presente na composição química (FROHLICH et al., 2018).

Autores comprovam a potencialidade do óleo essencial de cravo da índia no controle e seus diferentes modos de ação em pragas de grãos armazenados. El-Gizawy et al. (2018), destacam maior eficiência por fumigação em *Sitophilus oryzae*, *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium castaneum*. Já Ramsha et al. (2019) e Mansour et al. (2020), observaram comportamento de repelência para *T. castaneum* e *S. oryzae*. Soe et al. (2020) destacam o efeito residual sobre a mortalidade de *C. maculatus*.

O efeito inseticida do óleo essencial de cravo, está relacionado com a alta quantidade de eugenol, sendo este um terpeno com ação já comprovada sobre insetos (PACHECO et al., 2016). A presença majoritária do eugenol no óleo de cravo da índia é evidenciado por diversos autores, tais como, Oliveira et al. (2009) 70 a 90%, 52,53% (ASCENÇÃO et al., 2013), 83,6% (COSTA et al., 2011) e 62,72% (JAIROCE et al., 2016).

Além de mortalidade, repelência e fumigação, derivados de plantas tem ação na fisiologia nutricional dos insetos, causando desequilíbrio nos processos de digestão, afetando assim seu desenvolvimento até sua reprodução, reduzindo sua capacidade de causar danos (OLIVEIRA et al., 2020).

O estudo dos processos digestivos em insetos, com ênfase na biologia celular das células intestinais e na caracterização de enzimas digestivas, emerge como uma linha de pesquisa promissora no combate de pragas. Espera-se que um maior conhecimento nessa área leve à

obtenção de inibidores específicos de enzimas digestivas que poderão ser utilizados como uma nova geração de praguicidas (TERRA et al., 1996).

2.6. Requerimentos nutricionais

O estado nutricional do inseto é de extrema importância para sua sobrevivência. A partir de sua alimentação, adquire nutrientes essenciais para suprir as demandas energéticas para seu desenvolvimento desde a fase larval até a adulta, estando diretamente ligada à sua reprodução. Uma das características dos insetos é obter seus nutrientes de uma ampla gama de alimentos (BEHMER, 2008).

Como todos os outros animais, os insetos precisam ingerir alimentos para a aquisição de energia e nutrientes, para apoiar o seu metabolismo. De acordo com as necessidades fisiológicas e de desenvolvimento do inseto, os nutrientes adquiridos podem ser alocados diferencialmente em diferentes órgãos, processos e / ou vias metabólicas, permitindo ao inseto ajustar sua fisiologia de acordo com seu estado nutricional interno (BADISCO et al., 2013).

Em insetos existe a presença do corpo gorduroso que é um órgão multifuncional com um papel importante em uma variedade de processos metabólicos, incluindo: armazenamento de proteínas, lipídios e carboidratos, que são precursores do metabolismo em outros órgãos, regulação de compostos químicos liberados na hemolinfa, síntese de vitelogenina e síntese de peptídeos antimicrobianos que atuam na resposta imune inata (SOUSA et al., 2013).

Os constituintes nutricionais são imprescindíveis ao desenvolvimento do inseto, as proteínas participam da estrutura do tegumento, e da síntese de hormônio e enzimas, que fornecem aminoácidos envolvidos em muitos processos como morfogênese, crescimento, produção de ovos e esclerotização cuticular, além de atuarem como neurotransmissores. Açúcares totais, um tipo de carboidrato, são as principais fontes energéticas da maioria dos insetos, podendo ser convertidos em gorduras e contribuir para a produção de aminoácidos, além de participar do desenvolvimento cuticular, das estruturas reprodutivas e do processo pré vitelogênico. O glicogênio é outro carboidrato armazenado no corpo gorduroso, podendo também ser encontrado nos músculos, intestino e outros tecidos (OLIVEIRA; CRUZ-LANDIM 2003, KLOWDEN. 2007, ARRESE et al., 2010).

Os lipídios têm papéis mais essenciais na vida dos insetos, pois não são usados apenas para o crescimento e desenvolvimento, mas também para voo, migração, diapausa, fome, nutrição do embrião, síntese de feromônios sexuais, cera cuticular e várias secreções defensivas, os lipídios também são as moléculas primárias dentro das membranas biológicas e

desempenham funções importantes, tais como compartimentação e segregação celular, transdução de sinal e fissão e fusão de membrana, portanto, o metabolismo lipídico é crítico para a vida dos insetos (TOPRAK et al., 2020).

2.7. Efeito inseticida sobre a nutrição do inseto

Inseticidas sintéticos ou naturais ocasionam alterações no metabolismo dos insetos e alteram os níveis de vários componentes bioquímicos pela interferência na aquisição e/ou metabolização de nutrientes como proteínas, carboidratos e lipídios, alterando assim, os componentes vitais no corpo do inseto, causando redução na sua atividade ou mortalidade (ALI; IBRAHIM. 2018).

Os compostos presentes em óleos essenciais, além de toxicidade e repelência afetam parâmetros reprodutivos e nutricionais desde a fase larval onde as aquisições de recursos nutricionais poderão ser destinados para sustentar o crescimento e/ou a reprodução, durante a fase imatura, a aquisição de recursos nutricionais se faz necessário para que ocorra a maturação do aparelho reprodutor e amadurecimento dos óvulos (MILANO et al., 2010).

De acordo com Cruz et al. (2016) a redução no quantitativo e qualitativo nutricional afetam parâmetros biológicos que variam desde redução no peso, alterações nos tempos dos instares, até um decréscimo da capacidade reprodutiva, além de alterações fisiológicas no sistema reprodutivo dos insetos, devido a presença de substâncias capazes de bloquear os fagoestimulantes dessa forma inibindo a alimentação, onde transtornos alimentares e deficiência nutricional são responsáveis pela diminuição das taxas de reprodução.

Pesquisadores relatam o efeito antinutricional em insetos por derivados de plantas devido a elevada quantidade de metabólitos com efeitos variados sobre a sobrevivência e desenvolvimentos dos insetos, além de esterilidade, esta atividade varia de estratégias que envolvem contato, ingestão ou por ação fumigante (CESPEDES et al., 2013). Como destaca Lima et al. (2020) o efeito antinutricionais em insetos adultos de *T. castaneum* utilizando extrato da casca do tronco de *Genipa americana* L. Alguns inseticidas botânicos ou químicos apresenta em sua composição compostos que agem rompendo a matriz peritrófica, que é uma membrana encontrada no intestino médio de insetos, membrana intestinal relacionada à proteção do inseto contra agentes externos e absorção de nutrientes (BANDYOPADHYAY et al., 2001).

2.8. Parâmetros olfativos dos insetos

Os insetos possuem um olfato altamente desenvolvido, captado pelas antenas, para detecção e discriminação de compostos voláteis presentes no ambiente, provavelmente, os que mais dependem do olfato para desempenhar suas atividades comportamentais, sendo os odores importantes para a localização de presas, de hospedeiros e também na defesa, na seleção de plantas, na escolha de locais de oviposição, na busca de parceiro sexual, em processos de corte e acasalamento, na organização das atividades sociais e em diversos outros tipos de comportamento (BIRCH et al., 1982; NAIME et al., 2006)

Para avaliar a resposta a estímulos olfativos nos insetos, existem diferentes métodos cuja aplicação depende do tipo de inseto a ser estudado, como olfatômetros túneis de vento, câmaras de escolha e medidores de locomoção, entre outros (GIBLIN-DAVIS et al., 2002). O olfatômetro em “Y” é o equipamento mais indicado para testar a tanatose, como é o caso dos curculionídeos. Vários autores avaliaram a resposta olfativa de curculionídeos por meio do equipamento acoplado à fonte de ar, que permite observar o comportamento e a resposta olfativa dos insetos e determinar a preferência alimentar dos mesmos a diversos substratos (GIRÓN-PÉREZ et al., 2009).

Tinzaara et al. (2002) por meio do olfatômetro em “Y” observaram o comportamento olfativo do *Cosmopolites sordidus* (Dryophthoridae) e determinaram a atratividade alimentar desse inseto. Jahromi et al. (2012) constataram repelência utilizando concentração de 10% de sirinol com o olfatômetro em “Y” em *Lasioderma serricorne* (anobiídeos) e *T. castaneum*. Pela mesma técnica, Ebrahimifar et al. (2021) constatou repelência do óleo essencial de *Ferulago angulata* (Apiaceae) contra *T. castaneum* e *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera Bostrichidae) com os maiores valores de repelência quando utilizado a concentração de 300 ppm do óleo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALARCÓN, F. J.; MARTÍNEZ, T. F.; BARRANCO, P.; CABELLO, T.; DÍAZ, M.; MOYANO, F. J. Digestive proteases during development of larvae of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera: Curculionidae). **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 32, p. 265–274, 2002.
- ALBIERO, B., FREIBERGER, G., MORAES, R. P., VANIN, A. B. Potencial inseticida dos óleos essenciais de endro (*Anethum graveolens*) e de nim (*Azadirachta indica*) no controle de *Sitophilus zeamais*. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 21443-21448, 2019.
- ALMEIDA, F. A. C.; GOLDFARB, A. C.; GOUVEIA, J. P. G. Avaliação de extratos vegetais e métodos de aplicação no controle de *Sitophilus* spp. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 1, n. 1, p. 13-20, 1999.
- ATANASOVA, D. First record of new food specialization of the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae) in Bulgaria. **Journal of BioScience and Biotechnology**, v. 9, n. 1, p. 77-80, 2020.
- ARAÚJO, A., OLIVEIRA, J. V. D., FRANÇA, S. M., NAVARRO, D. M., BARBOSA, D. R., DUTRA, K. D. A. Toxicidade e repelência de óleos essenciais no manejo de *Sitophilus zeamais*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 372-377, 2019.
- ARIAS, J., SILVA, G., FIGUEROA, I., FISCHER, S., ROBLES-BERMÚDEZ, A., RODRÍGUEZ-MACIEL, J. C., LAGUNES-TEJEDA, A. Actividad insecticida, repelente y antialimentaria del polvo y aceite esencial de frutos de *Schinus molle* L. para el control de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky). **Chilean journal of agricultural & animal sciences**, v. 33, n. 2, p. 93-104, 2017.
- ARRESE, E. L., HOWARD, A. D., PATEL, R. T., RIMOLDI, O. J., SOULAGES, J. L. Mobilization of lipid stores in *Manduca sexta*: cDNA cloning and developmental expression of fat body triglyceride lipase, TGL. **Insect biochemistry and molecular biology**, v. 40, n. 2, p. 91-99, 2010.
- ASCENÇÃO, V. L., MOUCHREK FILHO, V. E. Extração, caracterização química e atividade antifúngica de óleo essencial *Syzygium aromaticum* (cravo da Índia). **Cadernos de Pesquisa**, 2013.
- BADISCO, L., VAN WIELENDAAELE, P., VANDEN BROECK, J. Eat to reproduce: a key role for the insulin signaling pathway in adult insects. **Frontiers in physiology**, v. 4, p. 202, 2013.

- BARBOSA, S. L.; LEITE, G. L. D.; MARTINS, E. R.; GUANABENS, R. E. M.; SILVA, F. W. S. Métodos de extração e concentrações no efeito inseticida de *Ruta graveolens* L., *Artemisia verlotorum* Lamotte e *Petiveria alliacea* L. a *Diabrotica speciosa* Germar. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 11, n. 3, p. 221-229, 2009.
- BANDYOPADHYAY, S., ROY, A., DAS, S. Binding of garlic (*Allium sativum*) leaf lectin to the gut receptors of homopteran pests is correlated to its insecticidal activity. **Plant Science**, v. 161, n. 5, p. 1025-1033, 2001.
- BARONI, G. D., BENEDETI, P. H., SEIDEL, D. J. Cenários prospectivos da produção e armazenagem de grãos no Brasil. **Revista Thema**, v. 14, n. 4, p. 55-64, 2017.
- BEHMER, S.T. Nutrition in Insects. In: Capinera JL (eds) Encyclopedia of Entomology. Springer, Dordrecht, 262p, 2008.
- BIRCH, M. C., HAYNES, K. F. **Insect pheromones**. Edward Arnold, 1982.
- BRITO, S. S. S., DE OLIVEIRA, C. H. C. M., DE OLIVEIRA, C. R. F. Atividade inseticida e repelente de óleos essenciais sobre *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann, 1833). **Agrarian**, v. 12, n. 46, p. 443-448, 2019.
- BRÜGGER, B. P., MARTÍNEZ, L. C., PLATA-RUEDA, A., E CASTRO, B. M. D. C., SOARES, M. A., WILCKEN, C. F., ZANUNCIO, J. C. Bioactivity of the *Cymbopogon citratus* (Poaceae) essential oil and its terpenoid constituents on the predatory bug, *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2019.
- BU, S.H; CHEN, H. The alimentary canal of *Dendroctonus armandi* Tsai and Li (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **Coleopterists Bulletin** 63, 485–496. 2009
- BUDEL, J. M., WANG, M., RAMAN, V., ZHAO, J., KHAN, S. I., REHMAN, J. U., KHAN, I. A. Essential oils of five *Baccharis* species: investigations on the chemical composition and biological activities. **Molecules**, v. 23, n. 10, p. 2620, 2018.
- CARNEIRO, W. M. A. Nordeste: 1º Prognóstico da Safra de Grãos 2020/2021 da CONAB. 2020.
- CARVALHO, A., LOPES, A. D., REZENDE, C. N., CARNEIRO, L. A. V., MEIRELLES, V., LARA, V. D. S., Manejo integrado de pragas de grãos armazenados: implantação e monitoramento de pragas na unidade armazenadora. **Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017. Lorini, I.
- CESPEDES, C. L. et al. The insecticidal, molting disruption and insect growth inhibitory activity of extracts from *Condalia microphylla* Cav. (Rhamnaceae). **Industrial Crops and Products**. 42. 78–86. 2013

COITINHO, R.L.B. de C.; OLIVEIRA, J.V. de; GONDIN JUNIOR, M.G.C.; CÂMARA, C.A.G. da. Toxicidade de óleos vegetais para adultos de *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) em grãos de milho armazenados. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.31, p.29-34, 2006.

CONAB (Brasil). Boletim da safra de grãos. 2020/2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/serie-historica-das-safras>. Acesso em: 02 jun. 2021.

CORRÊA, J. C. R.; SALGADO, H. R. N. Atividade inseticida das plantas e aplicações: revisão. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 13, n. 4, p. 500-506, 2011.

COSTA, A. R. T., AMARAL, M. F. Z. J., MARTINS, P. M., PAULA, J. A. M., FIUZA, T. D. S., TRESVENZOL, L. M. F., BARA, M. T. F. Ação do óleo essencial de *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & LM Perry sobre as hifas de alguns fungos fitopatogênicos. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 13, n. 2, p. 240-245, 2011.

COSTA, A. R. T.; AMARAL, M. F. Z. J.; MARTINS, P. M.; PAULA, J. A. M.; FIUZA, T. S.; TRESVENZOL, L. M. F.; PAULA, J. R.; BARA, M. T. F. Ação do óleo essencial de *Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & L.M.Perry sobre as hifas de alguns fungos fitopatogênicos. *Revista brasileira de plantas medicinais*, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 240-245, 2011.

COSTA-BECHELENI, F. R., TORO-SÁNCHEZ, C. L. D., WONG-CORRAL, F. J., ROBLES-BURGUEÑO, M. D. R., CÁRDENAS-LÓPEZ, J. L., BORBOA-FLORES, J. 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). **Revista chilena de entomología**, v. 46, n. 4, p. 639-652, 2020.

Cruz, G. S., Wanderley-Teixeira, V., Oliveira, J. V., D'assunção, C. G., Cunha, F. M., Teixeira, Á. A., Breda, M. O. Effect of trans-anethole, limonene and your combination in nutritional components and their reflection on reproductive parameters and testicular apoptosis in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Chemico-biological interactions**, v. 263, p. 74-80, 2017.

SILVA, M. R., DE FARIAS, P. M. O óleo essencial de *Pimenta racemosa* é eficiente inseticida para controle de *Sitophilus* spp.(Coleoptera: Curculionidae) em grãos armazenados. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 26, n. 1, p. 7-17, 2020.

FAZOLIN, M; COSTA, C. R. D; DAMACENO, J. E. D. O; ALBUQUERQUE, E. S. D; CAVALCANTE, A. S. D. S; ESTRELA, J. L. V. Fumigação de milho para o controle do gorgulho utilizando caule de *Tanaecium nocturnum* (Bignoniaceae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 1-6, 2010.

- FROHLICH, P. C., SANTOS, K. A., CARDOZO-FILHO, L., SILVA, E. A. Obtenção Do Extrato Das Folhas De Cravo Da Índia (*Syzygium Aromaticum*) Com Co₂ Supercrítico E Adição Dos Cossolventes Etanol E Acetato De Etila. **Revista Ensaios Pioneiros**, v. 2, n. 1, p. 20-31, 2018.
- GALESKI, A.; ARGON, A. S.; COHEN, R.E; BARTCZAK, Z. On the plastic deformation of amorphous component in semicrystalline polymers. **Polymer**, v. 37, n.11, p- 2113, 1996.
- GASPAROTTO, F., MARTINS, M. Z., DOS REIS BOCALETI, L. H., RAMARI, T. D. O. I., DE SOUZA PACCOLA, E. A. Terra de diatomáceas como alternativa no controle de *Sitophilus* spp. em arroz com casca. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 6, p. 132-140, 2020.
- GIBLIN-DAVIS R M, PEÑA J E, DUNCAN R E. Lethal pitfall trap for evaluation of semiochemical-mediated attraction of *Metamasius hemipterus serecius* (Coleoptera: Curculionidae). **Fla Entomol** 77: 247-255. 2002.
- GIRÓN-PÉREZ, K., NAKANO, O., SILVA, A. C., ODA-SOUZA, M. Atracção de adultos de *Sphenophorus levis* Vaurie (Coleoptera: Curculionidae) a fragmentos vegetais em diferentes estados de conservação. **Neotropical Entomology**, v. 38, p. 842-846, 2009.
- GOMES, P. R. B., MOUCHREK FILHO, V. E., RABÊLO, W. F., DO NASCIMENTO, A. A., LOUZEIRO, H. C., DA SILVA LYRA, W., FONTENELE, M. A. Caracterização química e citotoxicidade do óleo essencial do cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*). **Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas**, v. 47, n. 1, p. 37-52, 2018.
- GUYTON, A.C.; HALL, J.E. Tratado de Fisiologia Médica. 11^a ed. Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2006.
- HUSSEIN, H. S., SALEM, M. Z., SOLIMAN, A. M. Repellent, attractive, and insecticidal effects of essential oils from *Schinus terebinthifolius* fruits and *Corymbia citriodora* leaves on two whitefly species, *Bemisia tabaci*, and *Trialeurodes ricini*. **Scientia Horticulturae**, v. 216, p. 111-119, 2017.
- ISLAM, M. S., HASAN, M. M., LEI, C., MUCHA-PELZER, T., MEWIS, I., ULRICH, C. Direct and admixture toxicity of diatomaceous earth and monoterpenoids against the storage pests *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Sitophilus oryzae* (L.). **Journal of Pest Science**, v. 83, n. 2, p. 105-112, 2010
- JAHROMI, M. G., POURMIRZA, A. A.,SAFARALIZADEH, M. H. Repellent effect of sirinol (garlic emulsion) against *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) and *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) by three laboratory methods. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 2, p. 280-288, 2012

- JAIROCE, C. F., TEIXEIRA, C. M., NUNES, C. F., NUNES, A. M., PEREIRA, C. M., GARCIA, F. R. Insecticide activity of clove essential oil on bean weevil and maize weevil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 72-77, 2016.
- JAMPÍLEK, J., KRÁLOVÁ, K., & FEDOR, P. Bioactivity of Nanoformulated Synthetic and Natural Insecticides and Their Impact on Environment. In: **Nanopesticides**. Springer, Cham, p. 165-225, 2020.
- KLOWDEN, M.J. Physiological Systems in Insects. New York, Academic Press, 668p, 2007.
- KLOWDEN, M. Physiological Systems in Insects. San Diego: **Academic Press** 2002.
- KNAAK, N.; TAGLIARI, M. S.; FIUZA, L. M. Histopatologia da interação de *Bacillus thuringiensis* e extratos vegetais no intestino médio de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, n. 1, p. 83-89, 2010.
- LEHANE M J. Peritrophic matrix structure and function. *Ann Rev Entomol* 42: 525-550, 1997.
- LEITÃO, F. O., DA SILVA, W. H., OPPELT, G. J. Mapeamento das perdas da armazenagem da soja: um estudo de caso em uma cooperativa de armazenagem de grãos. **Revista de Gestão e Organizações Cooperativas**, v. 7, n. 13, 2020.
- LEITE, G. L. D.; SANTOS, M. M. O.; GUANABENS, R. E. M.; SILVA, F. W. S.; REDOAN, A. C. M. Efeito de boldo chinês, do sabão de côco e da cipermetrina na mortalidade de pulgas em cachorro doméstico. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 8, n. 3, p. 96-98, 2006.
- LEVY S M; FALLEIROS A M F; MOSCARDI F; GREGÓRIO E A; TOLEDO L A. Morphological study of the hindgut in larvae of *Anticarsia gemmatalis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotrop Entomol** 33: 427-431, 2004.
- LIMA, J. K. A., CHICUTA, C. P. L., COSTA, M. M., COSTA, M. L. A., GRILLO, L. A. M., SANTOS, A. F., GOMES, F. S. Biototoxicity of aqueous extract of *Genipa Americana* L. bark on red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst). **Ind. Crop. Prod.** 156. 2020
- LOURENÃ, V. S., SILVA, K. D., SANTOS, M. R., BUENO, L. L., JUNIOR, M. R., BERTI, M. P. S. Capacity of grain storage and drying in the State of Mato Grosso. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 8, p. 51-59, 2020.
- MENEGAES, J. F., NUNES, U. R., BELLÉ, R. A., BACKES, F. A. A. L., BARBIERI, G. F., DE SOUSA, N. A., DOS SANTOS, C. V. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de cártamo armazenadas em diferentes períodos e embalagens. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 17022-17034, 2020.
- MILANO, P., BERTI FILHO, E., PARRA, J. R., ODA, M. L., CÔNSOLI, F. L. Efeito da alimentação da fase adulta na reprodução e longevidade de espécies de Noctuidae, Crambidae, Tortricidae e Elachistidae. **Neotropical Entomology**, v. 39, p. 172-180, 2010.

- MITCHELL, P. Coupling of phosphorylation to electron and hydrogen transfer by a chemi-osmotic type of mechanism. **Nature**; Vol. 191, No. 4784, pp. 144-148, 1961.
- MORDUE, L; NISBET A J. Azadirachtin from the neem tree *Azadirachta indica*: its action against insects. *An Soc Entomol Brasil* 29: 615-632, 2000.
- MOURA GUERRA, A. M. N., DOS SANTOS SILVA, D., SANTOS, P. S., DOS SANTOS, L. B. Teste de repelência de óleos essenciais sobre *Callosobruchus maculatus*. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 3, 2019.
- NAIME, J. D. M., MORAES, M. C. B., LAUMANN, R. A., BORGES, M. Eletroantenograma para estudo comportamental de insetos. **Embrapa Instrumentação-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2006.
- NAPOLEÃO, T. H; ALBUQUERQUE, L. P; SANTOS, N. D;NOVA, I. C; LIMA, T. A., PAIVA, P. M; PONTUAL, E. V. Insect midgut structures and molecules as targets of plant-derived protease inhibitors and lectins. **Pest management science**, v. 75, n. 5, p. 1212-1222, 2019.
- NARAYANAN, A., RAMANA, K. V. Synergized antimicrobial activity of eugenol incorporated polyhydroxybutyrate films against food spoilage microorganisms in conjunction with pediocin. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 170, n. 6, p. 1379-1388, 2013.
- NATION, J. L. **Insect Physiology and Biochemistry**. Boca Raton: CRC Press, 2008.
- NATTUDURAI, G. Fumigant toxicity of volatile synthetic compounds and natural oils against red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of King Saud University – Science**, v. 24, p.153-159, 2012.
- NWOSU, L. C., AZEEZ, O. M., ELUWA, A. N., PETGRAVE, G. M. Two stubborn storage insect pests, *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*: Biology, food security problems and control strategies. **International Research Journal of Insect Sciences**, v. 5, n. 1, p. 7-13, 2020.
- OLIVEIRA, A. P. S., AGRA-NETO, A. C., PONTUAL, E. V., DE ALBUQUERQUE LIMA, T., CRUZ, K. C. V., DE MELO, K. R., PAIVA, P. M. G. Evaluation of the insecticidal activity of *Moringa oleifera* seed extract and lectin (WSMoL) against *Sitophilus zeamais*. **Journal of stored products research**, v. 87, p. 101615, 2020
- OLIVEIRA, J. V. D., FRANÇA, S. M. D., BARBOSA, D. R., DUTRA, K. D. A., ARAUJO, A. M. N. D., NAVARRO, D. M. D. A. F. Fumigação e repelência de óleos essenciais sobre *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) em feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 1, p. 10-17, 2017.

OLIVEIRA, R.A.; REIS, T.V.; SACRAMENTO, C.K.; DUARTE, L.P.; OLIVEIRA, F.F. Constituintes químicos voláteis de especiarias ricas em eugenol. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.19, n.771, 2009.

OLIVEIRA, V. P., CRUZ-LANDIM, C. Morphology and function of insect fat body cells: a review. **Biociências**, v. 11, p. 195-205, 2003.

OLIVEIRA, V. L. P., DIAS, G. G., SOARES, T. N. A., SOUZA, R. S., SANTOS, C. A. B. Avaliação de extratos vegetais da flora nordestina no controle da Sitotroga cerealella Olivier, 1819. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 7, p. 145-152, 2020.

PEIXOTO, P. G., OLIVEIRA, R. V., MIRANDA, V. S., DE PAIVA PAULINO, T., DE ANDRADE, R. M., PELLI, A. Avaliação proteica e parâmetros populacionais de *Cynaues angustus* Le Conte (Coleoptera: Tenebrionidae). **EntomoBrasilis**, v. 9, n. 2, p. 108-113, 2016.

PELEGRINI, D. F., BEZERRA, L. M. C., HASPARYK, R. G. Dinâmica da produção de feijão no Brasil: progresso técnico e fragilidades. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v. 38, n. 298, p. 84-91, 2017.

PLATA-RUEDA, A., CAMPOS, J. M., DA SILVA ROLIM, G., MARTÍNEZ, L. C., DOS SANTOS, M. H., FERNANDES, F. L., ZANUNCIO, J. C. Terpenoid constituents of cinnamon and clove essential oils cause toxic effects and behavior repellency response on granary weevil, *Sitophilus granarius*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 156, p. 263-270, 2018.

PROCÓPIO, TAMARA FIGUEREDO et al. Interferência do extrato aquoso de folhas de *Tradescantia spathacea* na fisiologia nutricional do gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais*. **Revista Arrudea**, v. 1, n. 1, p. 023–027, 2015.

REDA, F. M., HASSANEIN, W. A., MOABED, S., EL-SHAFIEY, S. N. Potential exploitation of *Bacillus flexus* biofilm against the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 30, n. 1, p. 1-7, 2020.

RIBEIRO, A. F.; FERREIRA, C.; TERRA, W. R. Morphological basis of insect digestion. In: Mellinger, J. (ed.) – Animal nutrition and transport processes. 1. **Nutrition in wild and domestic animals**. Basel: Karger, v.5, p.96-105, 1990.

RODRIGUES, A. C., WIATER, G., PUTON, B. M. S., MIELNICZKI-PEREIRA, A. A., PAROUL, N., CANSIAN, R. L. Atividade repelente e inseticida do óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* DC sobre *Sitophilus zeamais* Mots, 1855. **PERSPECTIVA, Erechim**. v. 43, n.161, p. 123-130, 2019

- RUPPERT, E. E; FOX, R. S.; BARNES, R. D. Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva. 7. ed. São Paulo: Rocca, 2005.
- SAEED, N., WAKIL, W., FAROOQ, M., SHAKEEL, M., ARAIN, M. S., SHAKEEL, Q. Evaluating the combination of *Metarhizium anisopliae* and an enhanced form of diatomaceous earth (Grain-Guard) for the environmentally friendly control of stored grain pests. **Environmental monitoring and assessment**, v. 192, n. 4, p. 1-9, 2020.
- SANTOS, V. S., DA SILVA, P. H. S., PÁDUA, L. E. Bioatividade do óleo essencial de *Lippia sidoides* Cham.(alecrim-pimenta) sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabr.)(Coleoptera: Chrysomelidae). **Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2018.
- SANTOS, J. C.; FARONI, L. R. A.; SIMOES, R. O.; PIMENTEL, M. A. G.; SOUSA, A. H. Toxicidade de inseticidas piretróides e organofosforados para populações brasileiras de *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Revista Bioscience Journal*. Uberlândia. v. 25, n. 6, p. 75-81, 2009.
- SILVA PINHEIRO, L., SILVA, R. C., DA CONCEIÇÃO VIEIRA, R., AGUIAR, R. O., DO NASCIMENTO, M. R., VIEIRA, M. M., SILVA, P. A. Análise de trilha dos atributos físicos de milho (*Zea mays* L.) em sistema de cultivo convencional. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e8010110832-e8010110832, 2021.
- SILVA, A. B., DE OLIVEIRA, C. R. F., MATOS, C. H. C., DOS SANTOS, P. É. M., de Magalhães Lira, C. R. I. Bioatividade do óleo essencial de *Croton blanchetianus* Baill (Euphorbiaceae) sobre *Callosobruchus maculatus* Fabricius, 1775 (Coleoptera: Chrysomelidae). **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 450-455, 2020.
- SILVA, A. C., DE VASCONCELOS, P. L. R., DE ANDRADE MELO, L. D. F., DA SILVA, V. S. G., JÚNIOR, J. L. D. A. M., DE BRITO SANTANA, M. Diagnóstico da produção de feijão-caupi no nordeste brasileiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 2, 2018.
- SILVA, A. M. C., MATOS, C. H. C., DE OLIVEIRA, C. R. F., DA SILVA, T. G. F. Resistance of landrace and commercial cowpea genotypes to *Callosobruchus maculatus* attack. **Journal of Stored Products Research**, v. 92, p. 101801, 2021.
- SILVA, A. O., DA SILVA, A. O., GOMES, J. A., DE OLIVEIRA, R. C., SILVA, D. A. S., VIÉGAS, I. D. J. M. Armazenamento de grãos na agricultura familiar: principais problemáticas e formas de armazenamento na região nordeste paraense. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, 2021.

- SILVA, C. F., DE MOURA, M. F., VILELA, Á. R. R., DE ARAÚJO, M. B., MARQUES, J. D. S. Produção de feijão-caupi em função do emprego de inoculante e adubos orgânicos e mineral. **Diversitas Journal**, v. 4, n. 3, p. 1130-1145, 2019.
- SILVA, C. P.; LEMOS, F. J. A.; SILVA, J. R. Digestão em insetos. In: TERMIGNONI, C.; MASUDA, H.; SILVA-NETO, M. A. C.; VAZ-JUNIOR, I. S.(Eds.). **Tópicos Avançados em Entomologia Molecular**. Rio de Janeiro: INCT-EM, p. 582, 2012.
- SILVA, L. L., DE ALMEIDA, R., VERÍCIMO, M. A., DE MACEDO, H. W., CASTRO, H. C. Atividades terapêuticas do óleo essencial de melaleuca (*melaleuca alternifolia*) Uma revisão de literatura. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 2, n. 6, p. 6011-6021, 2019.
- SILVA, M. R., DE FARIAS, P. M. O óleo essencial de *Pimenta racemosa* é eficiente inseticida para controle de *Sitophilus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) em grãos armazenados. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 26, n. 1, p. 7-17, 2020.
- Singh, K. D., Mobolade, A. J., Bharali, R., Sahoo, D., Rajashekar, Y. Main plant volatiles as stored grain pest management approach: A review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 4, p. 100127, 2021.
- SNELLING, E. P; SEYMOUR, R. S; RUNCIMAN, S. Moulting of insect tracheae captured by light and electronmicroscopy in the metathoracic femur of a third instar locust *Locusta migratoria*. **Journal of Insect Physiology**; Vol. 57, Issue 9, pp. 1312-1316, 2011.
- SOUSA, C. S. D., SERRÃO, J. E., BONETTI, A. M., AMARAL, I. M. R., KERR, W. E., MARANHÃO, A. Q., Ueira-Vieira, C. Insights into the *Melipona scutellaris* (Hymenoptera, Apidae, Meliponini) fat body transcriptome. **Genetics and Molecular Biology**, v. 36, p. 292-297, 2013.
- SOUSA, G; CONTE, H. Midgut morphophysiology in *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae). **Micron**, v. 51, p. 1-8, 2013.
- SOUZA, A. E., DOS REIS, J. G. M., RAYMUNDO, J. C., PINTO, R. S. Estudo da produção do milho no Brasil. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 11, p. 182, 2018.
- TERRA, W. R. Evolution and function of the insect peritrophic membrane. **Front Braz Res**, v. 48, p. 317-324. 1996.
- TINZAARA, W., DICKE, M., VAN HUIS, A., GOLD, C. S. Use of infochemicals in pest management with special reference to the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar)(Coleoptera: Curculionidae). **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 22, n. 4, p. 241-261, 2002.

TOPRAK, U., HEGEDUS, D., DOĞAN, C., GÜNEY, G. A journey into the world of insect lipid metabolism. **Archives of insect biochemistry and physiology**, v. 104, n. 2, p. e21682, 2020.

VASCONCELLOS DIAS, T. F., DE LUCENA ARCANJO, L., DA COSTA, G. L., SOUZA, C. S., DE LIMA, C. A. R. Controle de pragas e tratamento de grãos armazenados para uso em rações para animais. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e739996964-e739996964, 2020.

VEDOVATTO, F., VALÉRIO JÚNIOR, C., ASTOLFI, V., MIELNICZKI, P. A. A., ROMAN, S. S., PAROUL, N., & CANSIAN, R. L. Essential oil of *Cinnamodendron dinisii* Schwanke for the control of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 17, n. 4, p. 1055-1060, 2015.

VIEGAS JÚNIOR, C. Terpenos com atividade inseticida: uma alternativa para o controle químico de insetos. **Química Nova**, v. 26, n. 3, p. 390-400, 2003.

ZHANG, Y., TENG, B., WANG, D., JIANG, J. Discovery of a specific volatile substance from rice grain and its application in controlling stored-grain pests. **Food Chemistry**, v. 339, p. 128014, 2021.

ZIEGLER, V., PARAGINSKI, R. T., FERREIRA, C. D. Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality-A review. **Journal of Stored Products Research**, v. 91, p. 101770, 2021.

3. BIOATIVIDADE, MECANISMOS BIOQUÍMICOS E OLFATIVOS DO ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO E SEU COMPOSTO MAJORITÁRIO EUGENOL EM *Sitophilus zeamais* L. (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

RESUMO

As pragas de grãos armazenados são uma das principais causas de perdas de quantidade e qualidade dos grãos armazenados, com a busca por alternativa com menor impacto ambiental estudos sobre o uso de óleos essenciais para o controle de pragas vêm aumentando ao longo dos anos. Desta forma, objetivou-se avaliar a toxicidade do óleo essencial de *S. aromaticum* e seu composto majoritário sobre adultos de *S. zeamais*, além da influência das concentrações letais e subletais sobre parâmetros nutricionais da praga. De acordo com os dados obtidos na análise de Probit, o óleo essencial de *S. aromaticum* apresentaram as concentrações letais de CL_{95} com 35,21 $\mu\text{L/L}$ e a CL_{50} 13,7 $\mu\text{L/L}$ e o eugenol CL_{95} 12,74 $\mu\text{L/L}$, e CL_{50} 7,33 $\mu\text{L/L}$ no teste de toxicidade por efeito de contato. Todas as concentrações testadas do óleo e eugenol apresentaram efeito repelente, fumigante, provocam alterações na biologia do inseto, além de alterar as quantidades de proteína, lipídios, glicogênio e açúcar total para os períodos de 24 e 48 horas depois de montado o experimento. Os resultados demonstraram que o óleo e o eugenol em diferentes concentrações letais interferiram na biologia de *S. zeamais*. Conclui-se que o óleo essencial de *S. aromaticum* e seu constituinte eugenol causam efeitos adversos na nutrição e reprodução em *S. Zeamais*, alterando parâmetros essenciais para sua sobrevivência e estabelecimento em grãos armazenados, apresentam-se promissores para o controle de *S. zeamais* em grãos armazenados

Palavras-chave: Controle alternativo; Gorgulho do milho; Cravo da Índia.

3.1. INTRODUÇÃO

O ataque de insetos pragas durante o período de armazenamento de grãos, são responsáveis por grande perda econômica, uma vez que ocasionam danos físicos e sanitários (QUEIROZ et al., 2020). Uma das pragas mais danosas aos grãos de milho é o *Sitophilus zeamais* (Linnaeus, 1763) (Coleoptera: Curculionidae) conhecido popularmente como gorgulho do milho, considerado praga de infestação cruzada que além de atacar a cultura no campo ataca em armazéns, possui característica de se alimentar do interior do grão, realizar oviposição e o desenvolvimento da fase larval, diminuindo peso e qualidade, além de possibilitar a instalação de outros patógenos (SILVA; DE FARIAS, 2020).

Para o controle de insetos-pragas na fase de armazenamento são utilizados principalmente inseticidas químicos, mesmo sendo eficientes no controle das mesmas o seu uso contínuo acarreta acúmulo de resíduos tóxicos nos alimentos, contaminação do ambiente e seleção de populações resistentes, dessa forma se faz necessário o desenvolvimento de inseticidas que sejam seguros para os seres humanos e meio ambiente (ARAÚJO RIBEIRO et al., 2020).

Pesquisas recentes têm destacado a ação inseticida de derivados de plantas com efeitos letais e subletais de óleos essenciais, por sua composição química que contribui para o fornecimento de metabólitos secundários, sua divisão é feita em três grupos distintos quimicamente: terpenos, compostos fenólicos e componentes contendo nitrogênio, constituintes esses que geralmente estão envolvidos em mecanismos de defesa da planta contra o ataque de insetos herbívoros, microrganismos e patógenos através da sintetização de compostos como terpenos, terpenoides, fenilpropanoides, flavonoides e tiofenos (SILVA et al., 2019; ERO et al., 2020).

Autores comprovam a potencialidade do óleo essencial de cravo-da-índia no controle e seus diferentes modos de ação em diferentes pragas de grãos armazenadas, El-Gizawy et al. (2018) destacam maior eficiência por fumigação em *Sitophilus Oryzae*, *Rhyzopertha Dominica* e *Tribolium Castaneum*, já Ramsha et al. (2019) e Mansour et al. (2020), observaram comportamento de repelência para *Tribolium castaneum* e *Sitophilus oryzae*. Soe et al. (2020) destacam o efeito residual sobre a mortalidade de *Callosobruchus maculatus* utilizando o óleo de cravo.

Além desses efeitos, óleos essenciais podem apresentar interferências fisiológicas, promovendo alterações morfológicas em órgãos alvo, bem como uma baixa assimilação de nutrientes essenciais para o sucesso no crescimento e seus diversos parâmetros biológicos, uma vez que a o sucesso biológico e reprodutivo dos adultos, principalmente em insetos

holometábolos, está na aquisição de nutrientes em estágios imaturos (DUTRA et al., 2020). Cruz et al. (2017) constataram esses efeitos adversos na nutrição de *S. frugiperda* com os compostos limoneno e trans anetol, reduzindo as quantidades de lipídios, proteínas, carboidratos e açúcares totais, além de efeito na reprodução do inseto. Já Ribeiro et al. (2020) observaram que óleo essencial de folhas de *C. rudolphianus* causou alterações nos parâmetros nutricionais (taxa relativa de consumo, ganho relativo de biomassa e eficiência de conversão alimentar) para *S. zeamais* quando ingerido (CL 50 102,66 µL/g).

Os componentes nutricionais são importantes para o desenvolvimento, crescimento e reprodução dos insetos. As proteínas são fontes de aminoácidos, participam na síntese de hormônios e enzimas, e estão relacionadas com a secreção do hormônio juvenil, os lipídios são armazenados no tecido adiposo servindo como reserva energética, além de serem precursores na síntese de hormônio. Os carboidratos contribuem para a estrutura e funções de todos os tecidos dos insetos, são importantes na regulação do comportamento alimentar e na síntese de secreções defensivas, além de serem fontes energéticas. O glicogênio é utilizado como reserva metabólica e uma fonte de “Building blocks” para síntese de macromoléculas (NATION, 2022; ROCKSTEIN, 2012; STEELE, 1982).

Diante do exposto e da necessidade de buscar alternativas aos agrotóxicos para o controle de pragas de grãos armazenados e produtos de menor toxicidade aos organismos benéficos e ao homem, objetivou-se avaliar a toxicidade do óleo essencial de *S. aromaticum* e seu composto majoritário sobre adultos de *S. zeamais*, além da influência das concentrações letais e subletais sobre parâmetros nutricionais da praga.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Entomologia: Controle Alternativo de Pragas, localizado no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) em Rio Largo - AL, sob condições controladas de temperatura de 25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ de UR e fotofase de 12 horas, e no Laboratório de Fisiologia de Insetos do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal/DMFA, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

3.2.1. Criação do *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1855 (Coleoptera: Curculionidae)

Grãos de milho da variedade Catingueiro foram armazenados em freezer a uma temperatura de 10°C, por um período mínimo de 10 dias, para eliminação de qualquer agente biológico, sendo em seguida, acondicionados em potes de vidro hermeticamente fechados e em temperatura ambiente, por mais 10 dias, até obter o equilíbrio higroscópico e serem utilizados para os experimentos e criação.

Posteriormente, os grãos foram acondicionados em recipientes de vidro com capacidade de 2,5L com tampa contendo uma abertura revestida com tecido voil para ventilação. Eram realizadas infestações quinzenais, utilizando recipientes de vidro, esses eram preenchidos até a metade do seu volume total com milho, em seguida inseridos os insetos provenientes da criação em seu interior, permanecendo nesse ambiente por 10 dias, logo em seguida esses eram eliminados do recipiente e aguardada a geração F₁, objetivando manter a criação e desenvolvimento dos experimentos.

3.2.1. Obtenção do óleo essencial e do eugenol, análise cromatográfica, espectrometria de massas e identificação química do óleo essencial de *Syzygium aromaticum*

O óleo essencial de *S. aromaticum* foi adquirido na empresa especializada Quinarí Casa das Essências – Ponta Grossa/PR. De acordo com o laudo técnico da empresa, o produto é 100% puro, isento de solvente e diluente, país de origem Indonésia, proveniente de destilação a vapor das folhas e botões florais.

Para a confirmação da análise química das substâncias presentes no óleo essencial de cravo, foi realizada a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM) no Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais (LPqRN) da UFAL. As amostras foram injetadas no CG/EM modelo 2010 PLUS, Shimadzu, em uma coluna Nist-01 (100% Dimetilpolisiloxano) com (30 m, d. 0,25 mm). As condições do método usado foram as seguintes: injetor com a temperatura 250 °C no modo Split (com divisão de fluxo), a coluna iniciando com 60 °C/3 min, seguido por gradiente de 6 °C/min até atingir 210 °C, em seguida aumentou 15 °C/min até atingir 300 °C mantido.

A fonte de ionização utilizada foi impacto eletrônico (IE) com 70 eV (elétrons-volts), com a temperatura do detector “ion source” de 290 °C. A temperatura da interface foi de 220 °C, os valores de fragmentação registrados foram Scan de 35 m/z até 500 m/z e o tempo total da corrida foi 34 min. Uma mistura de hidrocarbonetos lineares (C₇H₁₆-C₃₀H₃₂) foi injetado sob as mesmas condições experimentais que as amostras, e a identificação dos componentes foi efetuada por comparação dos espectros fragmentação obtidos da base de dados do equipamento (Wiley 7 lib e NIST 08 lib) e através da utilização do Índice de Retenção de Kovats, cada

componente foi calculado como previamente descrito (VAN DEN DOOL; KRATZ, 1963; EL-SAYED, 2011). Os dados foram obtidos e processados com um PC com o software Shimadzu GC/MS Solution.

3.2.2. Teste de toxicidade por contato com óleo de cravo e eugenol

O óleo essencial foi adicionado às sementes de milho com pipetador automático, no interior de recipientes de vidro, os quais foram agitados manualmente durante dois minutos. Cada parcela de 40 g de milho foi infestada com 16 adultos não sexados de *S. zeamais* com até 15 dias de idade. Após 48 h de confinamento, foram determinadas as porcentagens de mortalidade, o mesmo procedimento foi utilizado para o composto majoritário eugenol. Foram realizados testes preliminares em diferentes concentrações para determinar valores próximos do Limite Superior (LS) e Limite Inferior (LI). A partir da fórmula de Bliss, foram definidas as concentrações para o bioensaio definitivo, estimando a CL_{50} e CL_{99} . Os dados foram analisados por Probit usando o Programa SAS para estimar as concentrações letais CL_{50} e CL_{95} de cada tratamento.

3.2.3. Teste de fumigação com óleo de cravo e eugenol sobre *Sitophilus zeamais*

As câmaras de fumigação foram confeccionadas com recipientes de vidro com volume de 1,8 L, adicionados 40 g de grãos de milho em seu interior e confinados 20 insetos adultos de *S. zeamais* não sexados, com até 15 dias de idade, por repetição.

Os tratamentos foram fixados no inferior da tampa dos recipientes e para evitar o contato direto do tratamento com os insetos, foi utilizado tecido poroso, entre a tampa e o recipiente propriamente dito. Decorridas 48 h da montagem foi avaliado a porcentagem de mortalidade.

Foram realizados testes preliminares em diferentes concentrações para determinar valores próximos do Limite Superior (LS) e Limite Inferior (LI). A partir da fórmula de Bliss, foram definidas as concentrações para o bioensaio definitivo. Os experimentos foram arranjados no delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições por tratamentos. Os dados de concentração resposta foram submetidos à análise de Probit, utilizando-se o programa computacional SAS (2002) para estimar as concentrações letais para 50 e 90% (CL_{50} e CL_{90}).

3.2.4. Teste de repelência sobre *Sitophilus zeamais*

Os testes foram realizados em arenas compostas por dois recipientes de vidro interligados a um recipiente central por meio de dois tubos de vidro. Em um dos recipientes foram adicionados 20 g de grãos de milho sem o tratamento (controle) e no outro, a mesma

quantidade de grãos contendo as diferentes concentrações do óleo essencial de *S. Aromaticum* e de Eugenol, sobre os papéis filtro em sachês.

No recipiente central foram liberados 16 adultos de *S. zeamais*, não sexados, com até 15 dias de idade. As concentrações foram baseadas nas concentrações estimadas no teste de contato. Após 48 h, os insetos contidos em cada recipiente foram quantificados, para avaliação da repelência.

O Índice de Repelência (IR) foi calculado pela fórmula: $IR = 2G/(G + P)$, onde G = % de insetos atraídos no tratamento e P = % de insetos atraídos na testemunha. Os valores de IR variam entre zero e dois, sendo que IR = 1 indica repelência semelhante entre o tratamento e a testemunha (tratamento neutro), IR > 1 indica menor repelência do tratamento em relação à testemunha (tratamento atraente) e IR < 1 corresponde à maior repelência do tratamento em relação à testemunha (tratamento repelente).

O intervalo de segurança utilizado para considerar se o óleo essencial é ou não repelente foi obtido, a partir da média dos IR (índice de repelência) e do respectivo desvio padrão (DP), ou seja, se a média dos IR for menor que 1 - DP, óleo essencial é repelente; se a média for maior que 1 + DP o óleo essencial é atraente e se a média estiver entre 1 - DP e 1 + DP, o óleo essencial é considerado neutro. Este índice é uma adaptação da fórmula citada por Lin et al. (1990) para índice de consumo.

3.2.5. Bioensaio em olfatômetro Y

A resposta comportamental de adultos de *Sitophilus zeamais* para óleo de cravo e para o eugenol foram verificada usando o olfatômetro em Y, operado com um fluxo de ar contínuo de 1,4 L/min, previamente umidificado e filtrado com carvão ativado.

A fonte de odor utilizada foi um pedaço de papel de filtro (2 x 2 cm) impregnado com 10 µL do tratamento ou hexano (controle), que foi colocado na base de cada braço do olfatômetro. Os insetos foram introduzidas na base do tubo principal do olfatômetro e seu comportamento foi observado durante 10 min. A resposta foi registrada quando o besouro caminhava até a porção correspondente a 75% do braço escolhido. E como não resposta, quando o inseto não caminhava contra o fluxo de ar e/ou não atingia a porção considerada durante os 10 minutos observados.

Foram testadas 20 insetos adultos sendo considerado cada espécime como uma repetição. A fonte de odor foi trocada a cada indivíduo testado. Os experimentos foram realizados no período entre 11:00 e 14:00 horas. Cada inseto foi testado apenas uma vez.

3.2.6. Ensaios Bioquímicos.

Para extração e quantificação das Proteínas Solúveis Totais, Lipídios, Açúcar Total e Glicogênio, foram montados previamente os bioensaios de toxicidade por contato tópico utilizando as concentrações letais estimadas no experimento com eugenol e óleo respectivamente (CL₂₅ (6,24 µL), CL₅₀ (7,33 µL) e CL₇₅ (8,6 µL); CL₂₅ (9.3 µL), CL₅₀ (13.7 µL) e CL₇₅ (20.17 µL).

A extração ocorreu após dois períodos sendo eles com 24 e 48 horas da instalação dos bioensaios de toxicidade, e cada amostra constou de quatro insetos adultos de *S. zeamais*, sendo para cada tratamento foram obtidas 10 amostras, totalizando 40 insetos/tratamento. O preparo das amostras (controle e tratamento) foi realizado macerando os insetos em tampão fosfato de sódio (pH 7,4 e 0,1 M), na proporção de quatro insetos/5 mL de tampão.

Para cada grupo de macerado, retirou-se com um pipetador automático, 1,0 mL da mistura (inseto + tampão) e manteve armazenado em um microtúbulo devidamente etiquetado. Todo procedimento foi efetuado em baixa temperatura para evitar a oxidação das amostras, obtendo-se assim as amostras de cada tratamento. Após esta etapa ocorreu o preparo das amostras, para isso cada grupo foram centrifugadas por 3 minutos a 3000 rpm. Após a centrifugação foram separados 100 µL de cada amostra para análise das proteínas solúveis totais e 200 µL para as análises de lipídeos, açúcar total e glicogênio.

3.2.7. Extração e Quantificação das Proteínas Solúveis Totais

As proteínas solúveis totais foram determinadas a partir do método de Bradford (1976). Os 100 µL de cada amostra de macerado foram transferidos para tubos de vidro de centrifugação, adicionando o corante Bradford (0,01% de Comissie Blue G-250; 8,5% de ácido fosfórico e 4,7% de etanol) até alcançar o volume de 5 mL. As misturas foram então homogeneizadas em agitador tipo vórtex e em seguida permaneceram em repouso por 2 minutos. Posteriormente, verificou-se a absorvância em espectrofotômetro UV visível/190-1000 nm Biospectro SP-220 em comprimento de onda de 595 32 nm. A unidade de leitura utilizada foi µg/mL. Os resultados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade utilizando o ProcGLM do SAS (SAS 2001).

3.2.8. Extração e Quantificação de Lipídio, Açúcar Total e Glicogênio

O conteúdo de lipídeo, açúcar total e glicogênio foram avaliados utilizando o método de Van Handel (1985a, b), onde 200 µL do macerado homogeneizado foram acrescidos de 200 µL de sulfato de sódio e 800 µL de clorofórmio e metanol (1:1), e centrifugado a 3000 rpm

durante 3 min. O precipitado foi utilizado para a análise de glicogênio, e o sobrenadante foi transferido para um microtúbulo onde foi acrescentado 600 µL de água destilada e centrifugado a 3000 rpm durante 3 min.

O lipídio foi tratado com reagente ácido fosfórico/vanilina enquanto o açúcar total e o glicogênio, tratados com reagente ácido sulfúrico/antrona. Posteriormente, verificou-se a absorvância em espectrofotômetro UV visível/190-1000 nm Biospectro SP-220 em comprimento de onda de 625 nm. A unidade de leitura utilizada foi µg/mL. Os resultados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade utilizando o ProcGLM do SAS (SAS 2001).

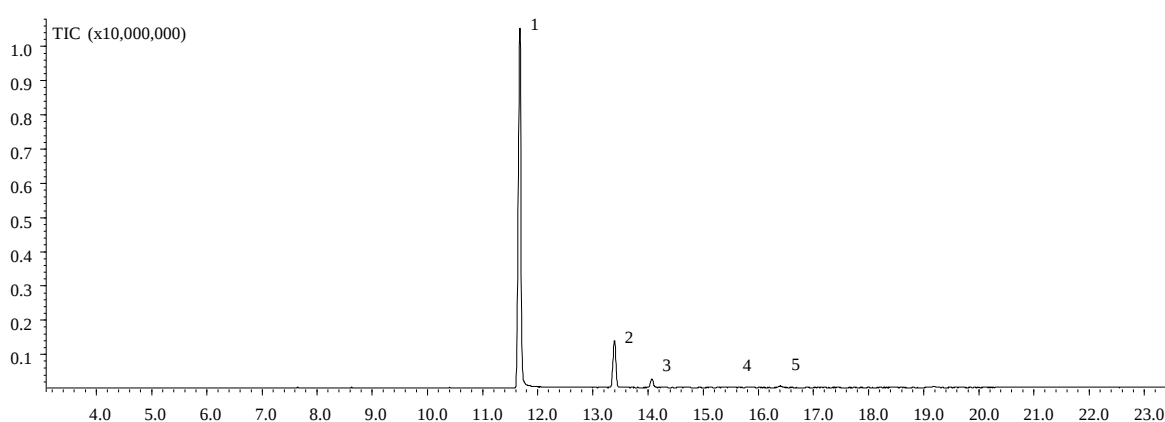
RESULTADOS

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Análise cromatográfica, espectrometria de massas e identificação química do óleo essencial de *Syzygium aromaticum*

Na análise cromatográfica do óleo essencial de cravo da Índia, foi possível identificar 5 picos entre 11 e 17 minutos de corrida cromatográfica, representados na Figura 1.

Figura 1. Cromatograma do óleo essencial de cravo-da-Índia, a partir de análise em CG-MS.



Na Tabela 1, estão relacionados os componentes encontrados no óleo essencial de *S. aromaticum* com seus respectivos tempos de retenção e percentual. Como pode ser observado, o composto majoritário representando 85,96% da composição do óleo foi identificado como o eugenol pertencente a classe dos fenilpropanóides. Os demais compostos, foram identificados como sendo o β -cariofileno, α -humuleno, D-cadineno e óxido de cariofileno, sesquiterpenos que podem contribuir para o aumento da ação inseticida do óleo.

Tabela 1. Composição química do óleo essencial *Syzygium aromaticum*, identificação a partir de análise por GC-MS e confirmação com compostos padrões.

Nº	Nome dos compostos	T. Retenção	IRt	IRc	%
1	Eugenol	11,68	1325	1321	85,96
2	Trans β -cariofileno	13,39	1405	1399	11,44
3	α -Humuleno	14,07	1431	1431	2,07
4	D- Cadineno	15,52	1501	1502	0,16
5	Óxido de cariofileno	16,40	1547	1547	0,37

TR = tempo de retenção (minutos), IRt = índice de retenção tabelado (Adams, 2007), IRc = índice de retenção calculado, % = porcentagem do componente

O resultado encontrado para o eugenol nessa análise cromatográfica do óleo essencial de cravo, está de acordo com os resultados encontrados na literatura (Narayanan et al. 2013; Sebaaly et al. 2015; Costa Lima et al. 2021; Kume et al. 2021). Esta quantificação dos compostos majoritários contidos nos óleos essenciais, é de grande importância, para associar a eficiência bioativa, como no estudo De Souza et al. (2020), que justificam a eficiência e amplo espectro de ação de óleos essenciais por estarem associados aos seus componentes químicos majoritários atuando diretamente sobre as estruturas do patógeno.

Porém, Lee et al. (2020), destacam que a composição dos óleos essenciais pode variar de acordo com a sua localização de cultivo, com a época de coleta, estágio de desenvolvimento da planta, condições climáticas e do solo, e que essa quantificação garante a qualidade e a indicação do óleo essencial.

Os óleos essenciais geralmente possuem em sua composição dois grupos biossintéticos os terpenos e os fenilpropanóides, comumente utilizados no desenvolvimento de inseticidas alternativos por apresentarem baixo custo e uma alta eficácia no controle de insetos devido ao alto potencial de toxicidade, interferindo nos processos bioquímicos tanto na fase larval quanto na fase adulta. (SADGROVE, 2022; KANDA, 2017, SANTOS, 2009).

3.3.2. Teste de toxicidade por contato

De acordo com os dados obtidos na análise de Probit, o óleo essencial de *S. aromaticum* no teste de toxicidade por efeito de contato, sobre *S. zeamais* apresentou a concentração letal de 95% (CL₉₅) com 35,21 µL/L e a CL₅₀ correspondendo 13,7 µL/L, já para o efeito de contato utilizando o composto majoritário Eugenol a CL₉₅ e CL₅₀, foram de 12,74 e 7,33 µL/L, respectivamente. O baixo valor de Quiquadrado nos bioensaios indica uma homogeneidade da população teste (Tabela 2).

Tabela 2. Toxicidade por efeito de contato do óleo essencial cravo da índia e o composto sintético eugenol sobre o *Sitophilus zeamais*

Produto	N	Inclinação±(EP)	CL ₅₀ (95% IC)	CL ₉₉ (95%IC)	χ^2
Óleo essencial de cravo da índia	400	4,013±0,283	13,703 µL (12,263-15,252)	35,212 µL (30,476-2,024)	2,165
Eugenol	400	9,691±0,810	7,33 µL (7,10-7,60)	12,74 µL (11,66-14,43)	6,29

N = Número de insetos, EP = erro padrão da média, IC = intervalo de confiança, CL = Concentração Letal, χ^2 = Qui-quadrado (significativo ao nível de 5% de probabilidade).

A atividade inseticida do óleo essencial de cravo da índia vem sendo testada em diferentes concentrações e com diferentes pragas de grãos armazenados, e sua bioatividade demonstrada neste estudo corrobora com os de Jairoce et al. (2016), que também na concentração de 35 $\mu\text{L/L}$ causou mortalidade de até 100% após 48 horas de tratamento para *S. zeamais* e *Acanthoscelides obtectus* (Coleoptera: Chrysomelidae).

Diversos óleos essenciais e seus componentes químicos têm sido efetivos, como alternativa aos inseticidas sintéticos, no controle de diversas pragas de grãos armazenados, Haddi et al. 2015 justifica o efeito inseticida do óleo essencial de *S. aromaticum* devido à presença elevada do composto majoritário eugenol.

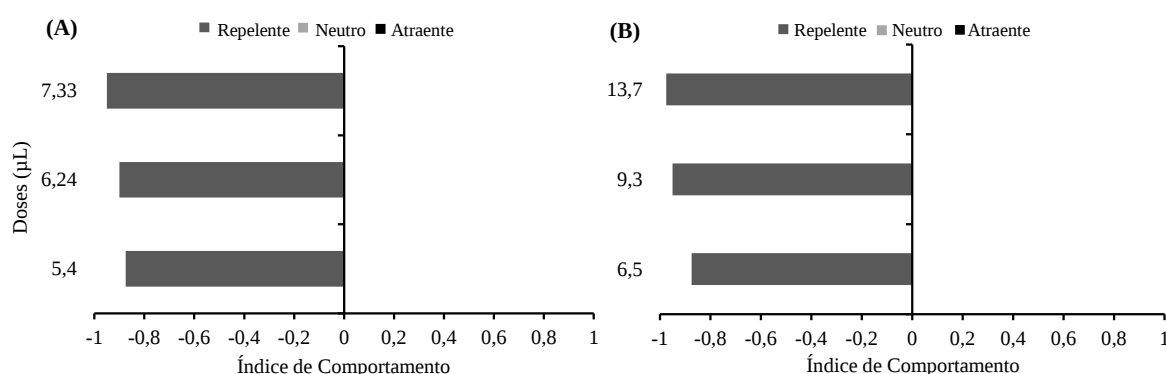
Na comparação das estimativas das concentrações letais, notou-se que a CL_{99} do eugenol, de 12,74 $\mu\text{L/L}$, foi quase três vezes menor do que a do óleo essencial de cravo bruto, mostrando assim, que realmente o composto majoritário eugenol identificado na análise química, é o responsável pela atividade inseticida por contato para o *S. zeamais*. Fato também evidenciado por Saad et al. (2018) e Islam et al. (2010).

A toxicidade do óleo e do composto majoritário podem estar associada aos fenilpropanoides e os sesquiterpenos, presente em suas composições, que apresentam atividade inseticida e insetistática, como supressores de apetite e retardadores de crescimento, além de afetarem diretamente o sistema nervoso central do inseto (SANTOS et al., 2021).

3.3.3. Teste de repelência sobre *Sitophilus zeamais*

Na Figura 2 é possível observar o comportamento repelente do óleo essencial de *S. aromaticum* e do eugenol, que em todas as concentrações testadas apresentaram efeito repelente, sendo necessário concentrações menores do eugenol quando comparada as doses do óleo essencial, por estar mais concentrado.

Figura 2. Efeito repelente óleo essencial cravo da índia (A) e Eugenol (B) sobre *Sitophilus zeamais*



O efeito repelente em pragas de grãos armazenados utilizando-se óleos essenciais, já é bastante conhecido na literatura: *C. winterianus*, *M. frondosus* e *P. anisum* sobre *Zabrotes subfasciatus* (Brito et al., 2019); *Baccharis dracunculifolia* sobre *S. zeamais* (Rodrigues et al., 2019)

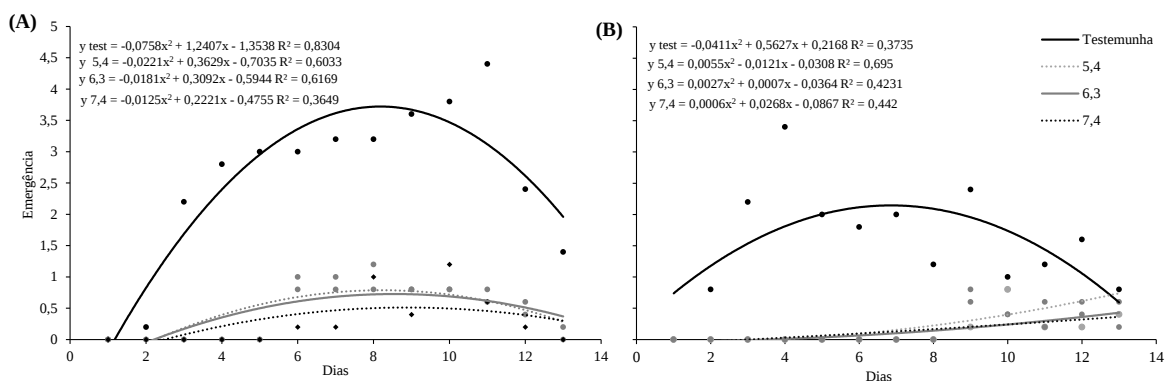
É de grande interesse a característica de repelência em um inseticida, pois ao repelir o inseto, diminui o grau de infestação do grão durante o período de armazenamento, sendo esse efeito obtido pelos alomônios, ou seja, substâncias químicas que favorecem o emissor protegendo-o de ataque de possíveis predadores particularmente de espécies vegetais contra insetos herbívoros (Pedotti-Striquer et al., 2006).

Uma possível explicação para o eugenol apresentar uma repelência em concentrações menores, é que esteja acontecendo um efeito antagônico entre os compostos presente no óleo essencial, diminuindo ou inibindo a atividade de outros compostos. A resposta ao comportamento de repelência indicou que os terpenóides têm efeito sobre o comportamento de *S. granarius*, alterações no padrão comportamental podem ocorrer devido à ação de alguns compostos tóxicos no sistema nervoso, estimulando ou reduzindo a mobilidade dos insetos, afetando os padrões de caminhada, alguns insetos quando expostos a inseticidas apresentam respostas comportamentais, deixando o ambiente tóxico assim que a presença do composto tóxico é detectada (Plata-Rueda et al., 2018)

3.3.4. Teste de Emergência de *Sitophilus zeamais* submetido ao tratamento com Eugenol e óleo essencial de cravo da índia

Observa-se redução em relação a taxa de emergência de adultos de *S. zeamais* para todos os tratamentos quando comparado a testemunha, tanto para o eugenol quando para o óleo de cravo da índia.

Figura 3. Emergência de *Sitophilus zeamais* sob tratamento com Eugenol (A) e óleo essencial cravo da índia (B).



João et al. (2020) justificam a emergência diminuir significativamente devido à capacidade dos metabólitos presentes de interromper a alimentação, seu desenvolvimento e reprodução do inseto. Além do efeito na emergência esses dados mostram a persistência da atividade inseticida do óleo essencial, pois essas informações contribuem para a determinação do intervalo mínimo necessário para a aplicação, destacando que os óleos essenciais afetam a emergência e, conseqüentemente, o crescimento populacional de insetos de produtos armazenados (SANTOS et al., 2019).

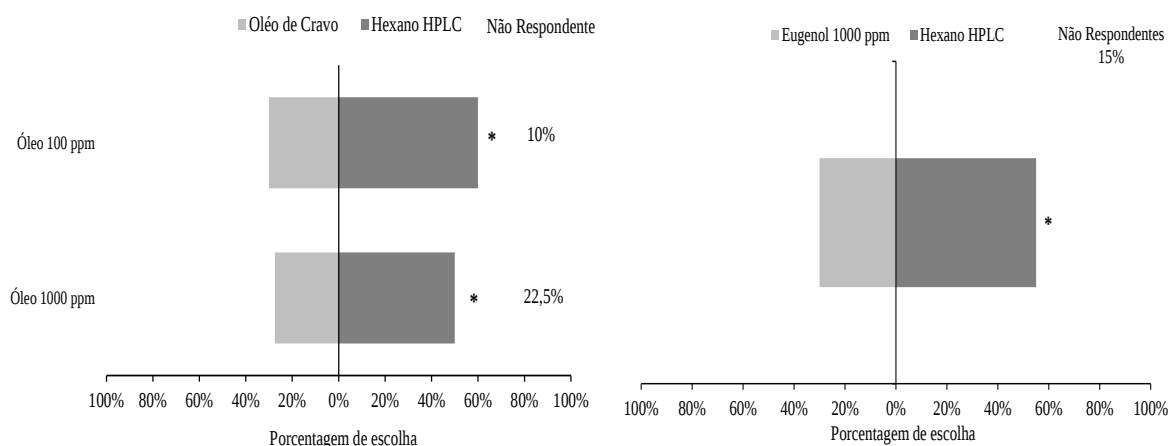
Resultados semelhantes foram encontrados por Tapondjou et al. (2005) onde avaliaram a bioatividade dos óleos essenciais de *Cupressus sempervirens* L. e *Eucalyptus saligna* L'Héritier sobre *S. zeamais* e constataram que eles reduziram a emergência de insetos adultos.

3.3.5. Teste olfativo utilizando olfatômetro do óleo essencial de cravo da Índia e do eugenol

A elucidação do modo de ação exercido pelos metabólitos secundários, como os óleos essenciais, é uma área bastante carente, mas de extrema importância, para realmente confirmar se o composto majoritário sozinho apresenta o efeito comportamental, ou se precisa estar em sinergismo com os demais compostos. Desta forma, através de um estudo de resposta olfativa utilizando olfatômetro tipo Y, confirmou no presente estudo a repelência do eugenol, composto majoritário do óleo essencial de cravo da Índia, em adultos de *S. zeamais*.

Na Figura 4 é possível verificar a maior preferência dos adultos de *S. zeamais* em se dirigir ao braço contendo o solvente hexano em relação a porcentagem de escolha tanto para os extratos de óleo de cravo como para o Eugenol, caracterizando assim, um efeito repelente.

Figura 4. Resposta comportamental de *Sitophilus zeamais* para extrato de óleo de cravo a 100 ppm (n=40) e 1000 ppm (n=40) em olfatômetro de dupla escolha. (*) indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Qui-quadrado 100 ppm (GL: 1, X^2 : 5,7166; $P=0,0168$); 1000ppm (GL: 1, X^2 : 4,3074; $P=0,0379$). E Resposta comportamental para composto eugenol diluído a 1000 ppm em olfatômetro de dupla escolha. (*) indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Qui-quadrado (GL=1; $X^2=4,4234$; $P=0,0354$).

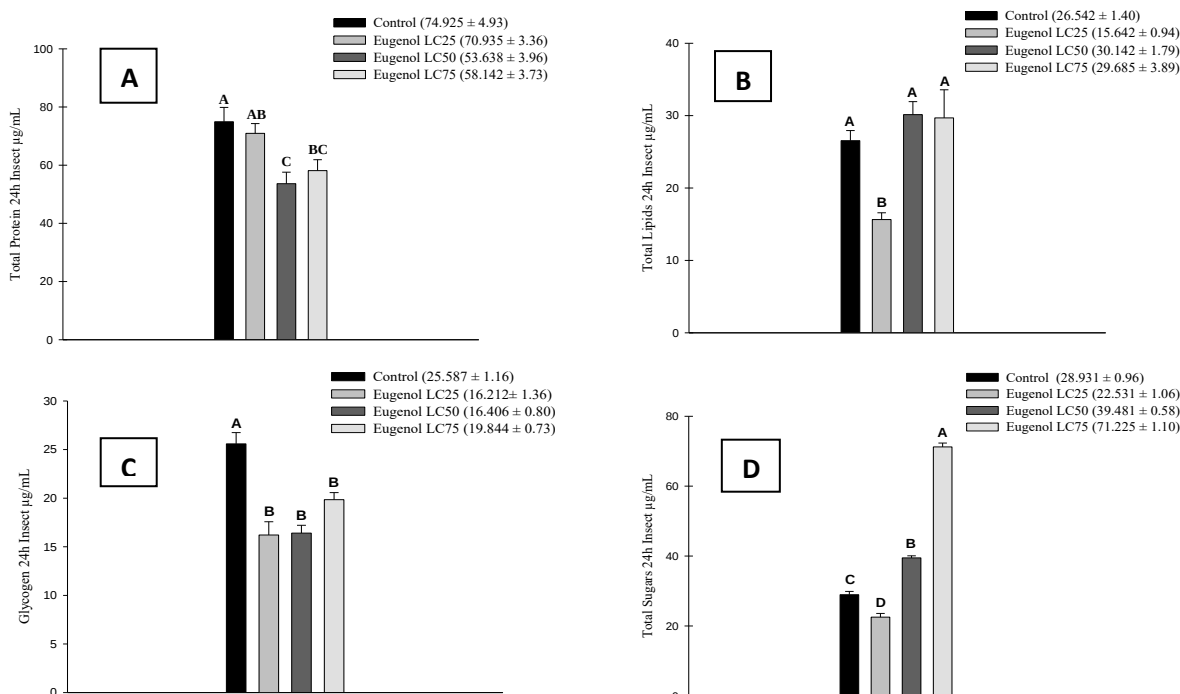


Essa análise de resposta olfativa para efeito repelente de compostos majoritários de óleos essenciais, também já foram evidenciados por Yang et al. (2014) com compostos majoritários Linalol e Limoneno em pragas de grãos armazenados; Jahromi et al. (2012) que confirmaram o efeito repelente de Sirinol por olfatometria e mais dois métodos em *Lasioderma serricorne* e *Tribolium castaneum*, E Ebrahimifar et al. (2020) que comprovam o efeito repelente por meio da técnica de olfatometria em *T. castaneum* e *R. dominica* utilizando óleo essencial de *Ferulago angulata*. além de garantir nenhum efeito negativo no vigor da semente.

3.3.6. Ensaios Bioquímicos

Para o período de 24 horas a quantificação de proteínas totais utilizando o Eugenol em *S. zeamais*, em todas as concentrações testadas $CL_{25} = 70,93 \pm 3,36$, $CL_{50} = 53,63 \pm 3,96$ e $CL_{75} = 58,14 \pm 3,73$ promoveram redução, destacando as CL_{50} e CL_{75} que deferiram estatisticamente do controle $74,92 \pm 4,93$ com a CL_{50} ocasionando maior redução. Para a extração e quantificação de lipídios as concentrações letais $CL_{50} = 30,14 \pm 1,79$ e $CL_{75} = 29,68 \pm 3,89$ aumentaram a quantidade de lipídios quando comparadas ao controle $= 26,54 \pm 1,4$, sendo que, apenas a concentração letal $CL_{25} = 15,642 \pm 0,94$ reduziu a quantidade de lipídios e diferiu significativamente do controle. Nos ensaios de glicogênio todas as concentrações letais $CL_{25} = 16,21 \pm 1,36$, $CL_{50} = 16,40 \pm 0,8$ e $CL_{75} = 19,84 \pm 0,73$ reduziram a quantidade de glicogênio e diferiram estatisticamente quando comparadas com o controle $= 25,58 \pm 1,16$ 7). Os ensaios de extração e quantificação de açúcar total mostraram efeito significativo para todas as concentrações letais com uma redução na quantidade de açúcar na $CL_{25} = 22,53 \pm 1,06$ quando comparadas ao controle $= 28,93 \pm 0,96$ e no aumento na quantidade de açúcar nas demais concentrações $CL_{50} = 39,48 \pm 0,58$; $CL_{75} = 71,22 \pm 1,10$ (Figura 5).

Figura 5. Quantidade de proteínas (A), lipídios (B), glicogênio (C) e açúcar total (D) (médias $\pm$ erro padrão) de *Sitophilus zeamais* submetidas ao ensaio de toxicidade por contato tópico nas concentrações Letais (25-50-75), do composto eugenol por 24 horas. Barras seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)



A redução de nutrientes em insetos pode se dar pela característica antialimentar que estão presentes em inseticidas botânicos, portanto a redução da proteína pode ser explicada pela quebra de proteínas em aminoácidos para desintoxicar os constituintes dos óleos e ajudar ao inseto a se recuperar do estresse inseticida causado pelos compostos ativos presentes (MEDHINI et al., 2009). Ali et al. (2018), também concluíram que o efeito inseticida e antialimentar de óleos essenciais de mamona e rícino em *Spodoptera littoralis*, destacando a redução da proteína total, efeito semelhante observado no presente trabalho para o período de 24 horas. A redução de proteínas totais também foi observada por Sayed et al. (2011) utilizando extratos brutos em larvas de *S. littoralis*; El-Bermawy e Abdel-Fattah, (2000) para *Tribolium confusum* com óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver).

Uma alternativa de avaliar a toxicidade de produtos com ação inseticida, é por meio de seus efeitos sobre os parâmetros bioquímicos dos insetos, cujo carboidratos, proteínas e lipídios atuam em um papel importante no processo bioquímico relacionado ao crescimento e desenvolvimento de insetos. Os insetos utilizam lipídios de forma eficiente para o desenvolvimento, reprodução e voo, sendo que a sua quantidade varia consideravelmente entre estágios de desenvolvimento e tecidos, e são influenciados por vários fatores, incluindo nutrição, sexo e hormônios (KUMAR; MICHAEL, 2012).

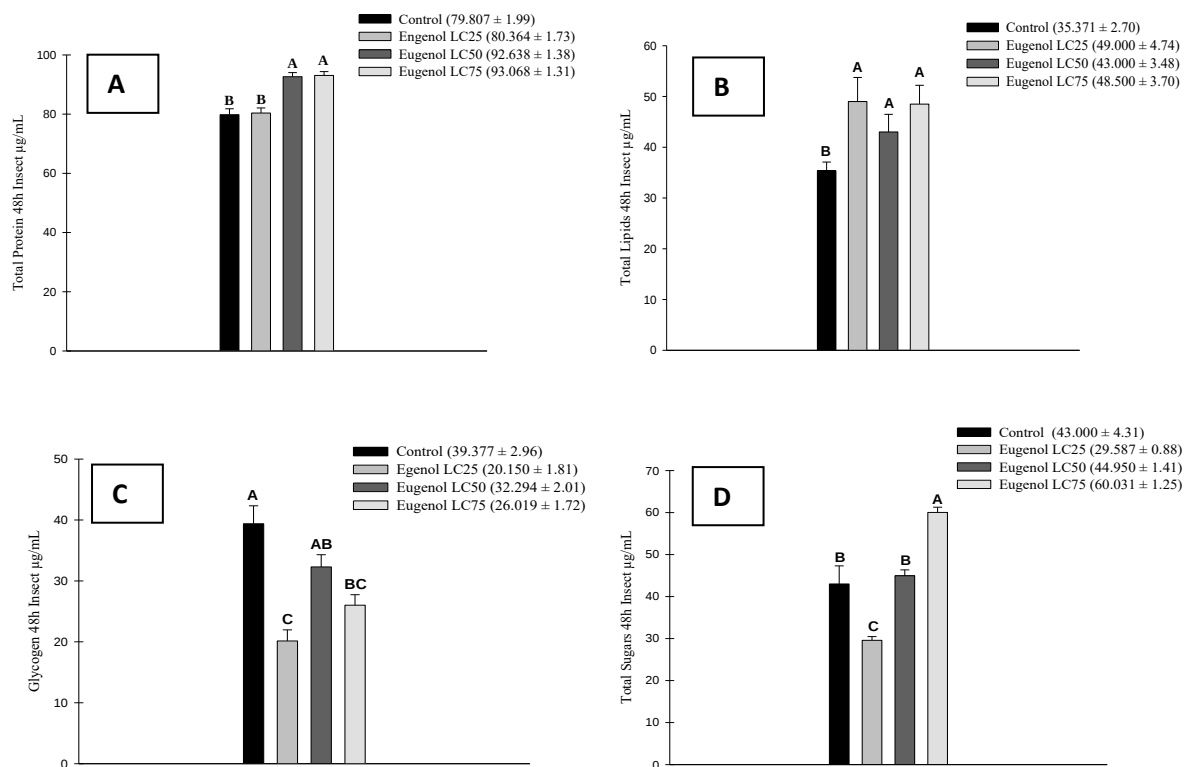
Essas alterações de inseticidas de origem vegetal nos níveis de vários componentes bioquímicos como, proteínas, carboidratos e lipídios dentro do corpo do inseto, compromete componentes vitais no corpo do inseto, causando sua redução na atividade ou mortalidade (Medhini et al., 2012).

Dutra et al. (2020) estudando o efeito de três óleos essenciais de *Piper* sobre parâmetros nutricionais de *S. frugiperda*, observaram que todas as doses letais testadas dos óleos das espécies de *P. corcovadensis* e *P. arboreum* promoveram a redução da quantidade de glicogênio, resultado semelhante ao presente estudo que houve redução na quantidade de glicogênio em todas as concentrações letais testadas, sendo justificado este fato, pela presença dos sesquiterpenos na composição desses óleos essenciais, uma vez que em lagartas de Lepidoptera esses terpenos bloqueiam os estimuladores de glicose e sacarose.

A redução de açúcar total apresentada na CL_{25} para os dois tempos de avaliação Corroborar com Silva et al. (2016) para *S. frugiperda* tratadas com óleo de citronela, demonstrando a capacidade que os óleos essenciais têm em interferir a bioquímica e fisiologia de insetos. O efeito de compostos majoritários na redução da quantidade de açúcar total, também foi enfatizada por Guedes et al. (2018) com citronelol e geraniol em *S. frugiperda*.

Já com o período de 48 horas para extração e quantificação de proteínas às $CL_{50}=92,63 \pm 1,38$, $CL_{75}=93,06 \pm 1,31$ também apresentaram diferença estatística quando comparada ao controle $79,80 \pm 1,99$, porém ao contrário de 24 horas houve aumento da quantidade de proteína total em todas as concentrações comparadas ao controle. Para lipídios com período de 48 horas, o mesmo padrão do período de 24 horas foi observado, com aumento da quantidade de lipídios e diferença significativa quando comparada ao controle $=35,371 \pm 2,70$ para todas as concentrações letais. Enquanto no ensaio de glicogênio com 48 horas apenas as concentrações $CL_{25}=20,15 \pm 1,81$ e $CL_{75}=26 \pm 1,72$ diferiram estatisticamente, porém todas reduziram a quantidade de glicogênio quando comparadas com o controle $=39,33 \pm 2,96$. Para extração com 48 horas apresentou redução de açúcar total com a $CL_{25}=29,58 \pm 0,88$ e aumento para a $CL_{75}=60,03 \pm 1,25$ quando comparadas ao controle $=43 \pm 4,3$ (Figura 6).

Figura 6. Quantidade de proteínas (A), lipídios (B), glicogênio (C) e açúcar total (D) (médias $\pm$ erro padrão) de *Sitophilus zeamais* submetidas ao ensaio de toxicidade por contato tópico nas concentrações Letais (25-50-75), do composto eugenol por 48 horas. Barras seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)



Já com o aumento do período de exposição do inseto ao composto majoritário proporcionou um maior estresse, requerendo uma maior quantidade de nutrientes para sua defesa, ocasionando um acúmulo de proteína, lipídios e açúcar total como consequência da eficiência do alimento ingerido.

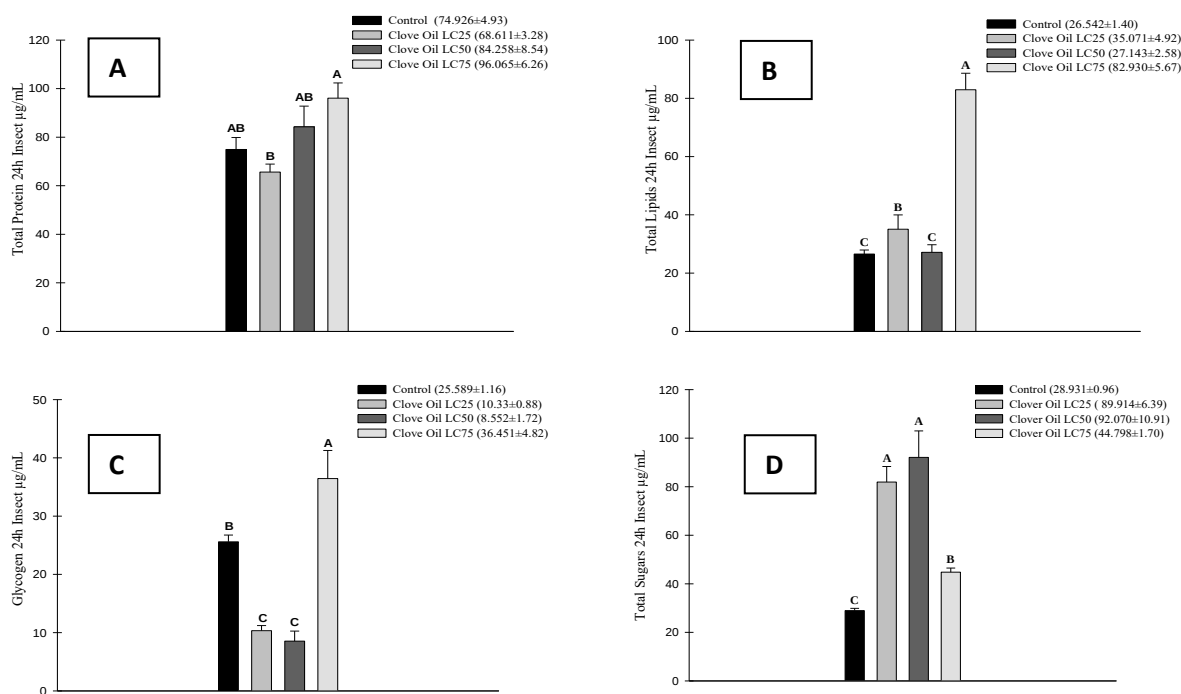
Essa variação de lipídeos também pode ser influenciada pelo tratamento com óleos essenciais, resultando no aumento dos seus níveis, como o óleo de cravo em *Sitophilus* (Askar et al., 2016)

A redução de glicogênio também foi observada por Cruz et al. (2017) ao testarem limoneno, trans-anetol e efeitos combinados de trans-anetol e limoneno em larvas de *S. frugiperda*.

As demais concentrações letais aumentaram a quantidade de açúcar total, fato explicado por He et al. (2019), que justificam este comportamento como uma estratégia do inseto para aumentar a capacidade de adaptação ao estresse inseticida, ao mesmo tempo destacam o papel importante dos açúcares na regulação do crescimento e desenvolvimento dos insetos.

Nos ensaios de extração e quantificação de proteínas totais com o óleo de cravo da Índia no período de 24 horas observa-se aumento na quantidade de proteínas nas CL50= $84,25 \pm 8,54$ e CL75= $96,06 \pm 6,26$ e redução na CL25= $68,61 \pm 3,28$, e foi a única que diferiu estatisticamente quando comparado ao controle= $74,92 \pm 4,93$. A quantificação de lipídios mostrou que em todas as concentrações testadas promoveram aumento na quantidade de lipídios, porém a CL 50= $27,14 \pm 2,58$ não diferiu do controle= $26,54 \pm 1,40$. Nos ensaios de extração e quantificação de glicogênio todas as concentrações diferiram estatisticamente do controle = $25,58 \pm 1,16$, porém as CL 25= $10,33 \pm 0,88$ e CL 50= $8,55 \pm 1,72$ promoveram redução na quantidade de glicogênio e a CL 75= $36,45 \pm 4,82$ aumentou a quantidade. Os ensaios de extração e quantificação de açúcar total, mostraram aumento na quantidade de açúcar e diferença estatística em todas as concentrações testadas CL 25= $89,91 \pm 6,39$ CL50= $92,07 \pm 10,9$ CL 75= $44,78 \pm 1,70$ quando comparada ao controle= $28,93 \pm 0,96$ (Figura 7).

Figura 7. Quantidade de proteínas (A), lipídios (B), glicogênio (C) e açúcar total (D) (médias $\pm$ erro padrão) de *Sitophilus zeamais* submetidas ao ensaio de toxicidade por contato tópico nas concentrações Letais (25-50-75), do óleo de cravo da Índia por 24 horas. Barras seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)



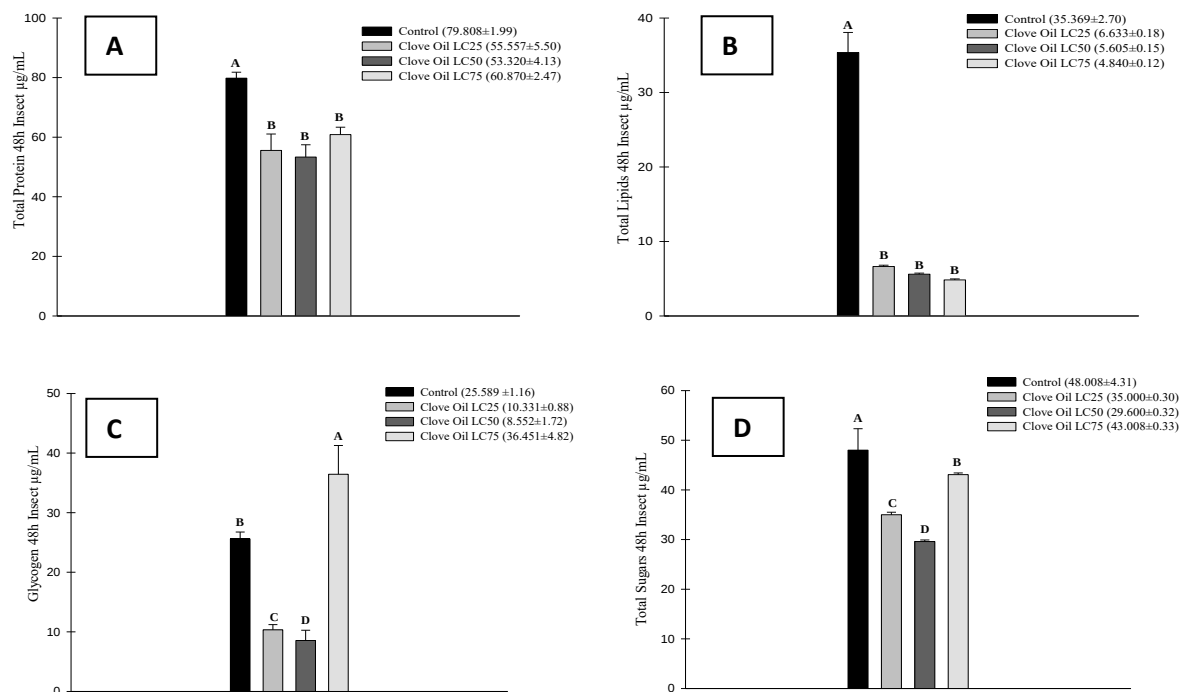
A redução de glicogênio nas CL 25 e CL50 são semelhantes ao trabalho de Upadhyay et al. (2011) que observaram redução de glicogênio testando o potencial inseticida de *Capparis decidua* em *Tribolium castaneum* onde reduziu o conteúdo corporal de glicogênio utilizando

extrato, redução esta que pode ser devido ao esgotamento de glicogênio, indicando a utilização das reservas alimentares para lidar com o estresse induzido por inseticida.

Wu et al. (2020) também obtiveram aumento na quantidade de açúcar total, justificando por que o açúcar armazenado foi convertido em glicose, resultando em um aumento significativo no teor total de açúcar solúvel para manter as atividades vitais sob o ambiente adverso e para apoiar a síntese proteica ativa.

Para o período de 48 horas a quantificação de proteínas totais utilizando óleo de cravo da Índia em *S. zeamais*, promoveu redução na quantidade de proteínas e diferença estatística em todas as concentrações testadas CL 25= $55,55 \pm 5,5$, CL 50= $53,32 \pm 4,13$ e CL75= $60,87 \pm 2,47$ quando comparada ao controle= $79,80 \pm 1,99$. Nos ensaios de extração e quantificação de lipídios todas as concentrações CL 25= $6,63 \pm 0,18$, CL 50= $5,60 \pm 0,15$ e CL75= $4,84 \pm 0,12$ promoveram redução na quantidade de lipídios e diferiram estatisticamente quando comparado ao controle= $35,36 \pm 2,7$. Nos ensaios de glicogênio observa-se redução na quantidade de glicogênio nas CL 25= $10,33 \pm 0,88$ e CL 50= $8,55 \pm 1,72$ e aumento na CL 75= $36,45 \pm 4,82$ quando comparado ao controle= $25,58 \pm 1,16$, todas as concentrações apresentaram diferença estatística quando comparados ao controle. Os ensaios de extração e quantificação de açúcar total mostraram redução na quantidade de açúcar e diferença estatística em todas as concentrações CL 25= $35,01 \pm 0,3$, CL 50= $29,6 \pm 0,32$ e CL 75= $43,08 \pm 0,33$ em relação ao controle= $48,08 \pm 4,31$ (Figura 8).

Figura 8. Quantidade de proteínas (A), lipídios (B), glicogênio (C) e açúcar total (D) (médias $\pm$ erro padrão) de *Sitophilus zeamais* submetidas ao ensaio de toxicidade por contato tópico nas concentrações Letais (25-50-75), do óleo de cravo da Índia por 48 horas. Barras seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)



Os inseticidas de origem vegetal alteram os níveis de vários componentes bioquímicos, como proteínas, carboidratos e lipídios dentro do corpo do inseto, alterando assim os componentes vitais no seu corpo, causando redução na sua atividade ou mortalidade. Corroborando com o presente estudo Ali; Ibrahim (2018) observaram que o óleo de cânfora (*Cinnamomum camphora*) que é um terpeno, reduziu a quantidade de proteínas totais em *Spodoptera littoralis*, os mesmos relataram que a quantidade de conteúdo proteico no corpo do inseto está relacionada à taxa de biossíntese e à taxa de quebra de proteínas em aminoácidos portanto, a redução nos teores de proteína no presente estudo pelo óleo de cânfora pode ser devido ao aumento na quebra de proteínas em aminoácidos para desintoxicar os constituintes do óleo e ajudar o inseto a se recuperar do estresse inseticida causado pelos compostos ativos do óleo.

A redução de lipídios também foi observada por BOUZIDI et al., 2019 utilizando óleo essencial de *Laurus nobilis* (Louro) em *Culiseta longiareolata*, justificando a redução dos níveis lipídicos devido ao seu efeito sobre o metabolismo lipídico, e devido à utilização das

reservas lipídicas para geração de energia para suprir as suas necessidades energéticas, como resultado do estresse induzido pelo óleo essencial.

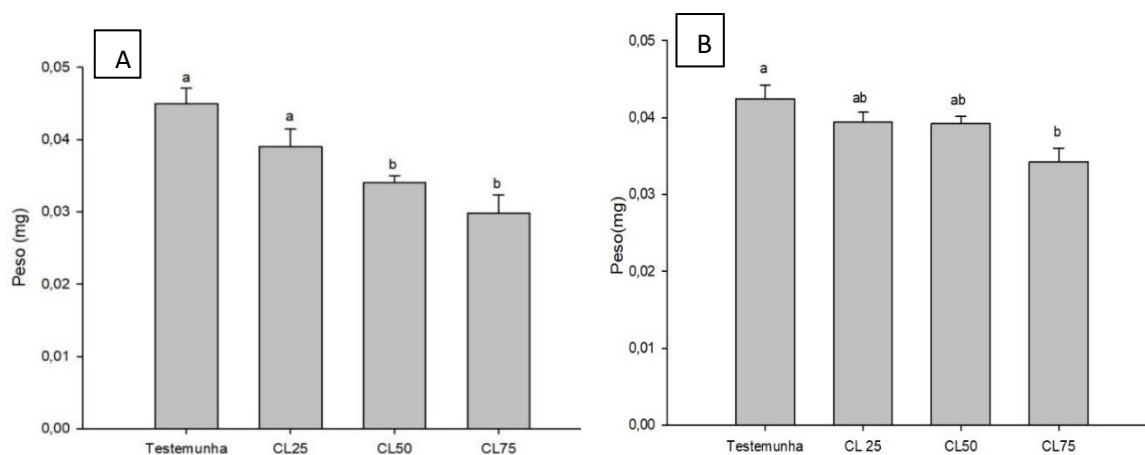
Cossolin et al.(2019) utilizando o óleo essencial de *Piper aduncum* (pimenta-de-macaco) sobre *Euschistus heros* observaram redução de glicogênio, semelhante aos resultados do presente trabalho, os autores sugerem o uso dessas moléculas de energia para alguma desintoxicação uma vez que o glicogênio serve como reserva nutricional e é primeiramente consumido pela célula como recurso energético.

Testando os óleos essenciais de *Thymus vulgaris*; *Eugenia caryophyllus*; *Ocimum basilicum* Chere et al. (2018) verificaram redução na quantidade de açúcar total em todos os óleos testados em *Musca domestica*, a mesma redução foi observado no presente estudo, uma explicação para a redução máxima de teor de açúcar após o tratamento pode ser devido a seu envolvimento para combater o estresse químico em que os insetos foram expostos.

3.3.7. Efeito Fagoinibidor

De forma concordante com a biomassa ingerida, observou-se um efeito fagoinibidor do Eugenol e do óleo essencial de cravo da índia sobre *S. zeamais*, nota-se que o efeito inibidor é dependente da concentração testada. O maior índice de fagoinibição é atingido com a CL 75 para os dois tratamentos quando comparado com a testemunha e as demais concentrações (Figura 9).

Figura 9. Efeito fagoinibidor do eugenol e do óleo de cravo da índia sobre *Sitophilus zeamais*.



Ferreira et al.(2018) destacam que os bioensaios de índices nutricionais e de fagoinibição se complementam demonstrando que o óleo essencial de *E. torelliodora* apresenta potencial como agente fagoinibidor para *S. zeamais*, os autores justificam essa ação, que também foi encontrado no presente trabalho, pela presença de terpenos que são os principais

agentes fagoínibidores de insetos e os óleos essenciais de plantas aromáticas são ricos em monoterpenos.

Omar et al. (2007), testando terpenos isolados quanto a atividade antialimentar de *Sitophilus oryzae*, constatou efeito de fagoínibição para os compostos isolados de *Lansium domesticum* e *Ruptiliocarpon caracolito*. Inibição da atividade alimentar foi observada por Guimarães et al. (2014) no gorgulho do milho quando exposto aos extratos aquoso e alcoólico de frutos de pimenta dedo-de-moça, nas concentrações de 10 e 20%, respectivamente atribuiu-se a diminuição de peso dos insetos ao efeito fagoínibidor desencadeado pelo extrato, acreditando-se que essa atividade seja consequência dos constituintes da *C. baccatum*, como a capsaicina, presente em abundância nas plantas do gênero *Capsicum*, que pode ter inibido a capacidade sensorial de *S. zeamais*, reduzindo sua alimentação e peso.

3.4. CONCLUSÕES

O óleo essencial de *Syzygium aromaticum* e seu composto majoritário apresentam potencial de toxicidade e repelência sob *S. zeamais*.

Tanto o óleo essencial quanto seu composto majoritário apresentam efeitos adversos na nutrição de *S. zeamais*, provocando alterações nas quantidades de lipídios, proteínas, glicogênio e açúcares totais.

Além de os tratamentos afetarem a reprodução do inseto e parâmetros essenciais para sua sobrevivência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALBIERO, B., FREIBERGER., VANIN, A. B. Atividade inseticida e repelente de extrato e pó de sementes de *Anethum graveolens* e *Azadirachta indica* frente ao *Sitophilus zeamais*. **Scientia Plena**, v. 16, n. 4, 2020.
- ALI, A. M., IBRAHIM, A. M. Castor and camphor essential oils alter hemocyte populations and induce biochemical changes in larvae of *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 21, n. 2, p. 631-637, 2018.
- ASKAR SI, AL-ASSAL M. S., NASSAR AMK. Efficiency of some essential oils and insecticides in the control of some *Sitophilus* insects (Coleoptera: Curculionidae). **Egyptian Journal of Plant Protection**. Research 4, 39–55. 2016.
- ATAIDE, J. O., PRATISSOLI, D., FRAGOSO, D. F. M., PINHEIRO, P. F. Caracterização e atividade inseticida do óleo essencial de *Zingiber officinale* Roscoe-Zingiberaceae sobre *Duponchelia fovealis* Zeller, 1847 (Lepidoptera: Crambidae). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 693-705, 2020.
- BOUZIDI, O., TINE-DJEBBAR, F., TINE, S., SOLTANI, N. Chemical Composition and Insecticidal Activity of *Laurus nobilis* Essential Oil on *Culiseta longiareolata* (Diptera: Culicidae) larvae. In **Conference on Agricultural, Chemical, Biological & Environmental Sciences**. 2019.
- BOUZIDI, O; TINE-DJEBBAR, F; TINE, S; SOLTANI, N. Chemical Composition and Insecticidal Activity of *Laurus nobilis* Essential Oil on *Culiseta longiareolata* (Diptera: Culicidae) larvae. **Chemical, Biological & Environmental Sciences** (PACBES-19) March 14-16 2019.
- BRITO, S. S. S., DE OLIVEIRA, C. H. C. M., DE OLIVEIRA, C. R. F. Atividade inseticida e repelente de óleos essenciais sobre *Zabrotes subfasciatus* (Bohemann, 1833). **Agrarian**, v. 12, n. 46, p. 443-448, 2019.
- CASTRO COITINHO, R. L. B., DE OLIVEIRA, J. V., JUNIOR, M. G. C. G., DA CÂMARA, C. A. G. Atividade inseticida de óleos vegetais sobre *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) em milho armazenado. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 2, p. 176-182, 2006.
- CHERE, J. M. C., DAR, M. A., PANDIT, R. S. Evaluation of some essential oils against the larvae of house fly, *Musca domestica* by using residual film method. **Biotechnol Microb**, v. 9, n. 1, p. 555752, 2018.

- COSSOLIN, JF, PEREIRA, MJ, MARTÍNEZ, LC, TURCHEN, LM, FIAZ, M., BOZDOĞAN, H., SERRÃO, JE. Cytotoxicity of *Piper aduncum* (Piperaceae) essential oil in brown stink bug *Euschistus heros* (Heteroptera: Pentatomidae). **Ecotoxicology**, v. 28, n. 7, p. 763-770, 2019.
- COSTA LIMA, J. C., PEREIRA, J. D. C. N., DE ANDRADE, M. F., DA SILVA GÓIS, G., DE ALMEIDA SIMÕES, I. T., DA SILVA, M. A. A. D., VINHAS, G. M. Estudo e influência dos óleos essenciais de cravo, canela e laranja na preparação de filmes de poli (ácido láctico): desenvolvimento de embalagens ativas. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e41810414340-e41810414340, 2021
- CRUZ, G. S., WANDERLEY-TEIXEIRA, V., OLIVEIRA, J. V., D'ASSUNÇÃO, C. G., CUNHA, F. M., TEIXEIRA, Á. A., BREDA, M. O. Effect of trans-anethole, limonene and their combination in nutritional components and their reflection on reproductive parameters and testicular apoptosis in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Chemico-biological interactions**, v. 263, p. 74-80, 2017.
- DUTRA, K., WANDERLEY-TEIXEIRA, V., GUEDES, C., CRUZ, G., NAVARRO, D., MONTEIRO, A., TEIXEIRA, Á. Toxicity of Essential Oils of Leaves of Plants from the Genus *Piper* with Influence on the Nutritional Parameters of *Spodoptera frugiperda* (JESmith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 23, n. 2, p. 213-229, 2020.
- EBRAHIMIFAR, J., JAMSHIDNIA, A., SADEGHI, R., EBADOLLAHI, A. Repellency of *Ferulago angulata* (Schlecht.) Boiss essential oil on two major stored-product insect pests without effect on wheat germination. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 41, n. 1, p. 217-223, 2021.
- El-Bermawy, S. M., FATTAH, H. Alterações no padrão eletroforético de proteínas de larvas de 4º ínstar de *Tribolium confusum* após tratamento com óleo vegetal volátil (Vetiver). **JOURNAL-EGYPTIAN GERMAN SOCIETY OF ZOOLOGY**, v. 31, n. E, p. 167-182, 2000.
- FERREIRA, L. O. G., PAULIQUEVIS, C. F., DE OLIVEIRA CONTE, C., FAVERO, S. Atividade de Fagoinibição do Óleo Essencial de *Eucalyptus torelliodora* sobre *Sitophilus zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae). **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 22, n. 2, p. 137-141, 2018.
- GIZAWY, K., HALAWA, S. M., MEHANY, A. L. Effect of essential oils of clove and dill applied as an insecticidal contact and fumigant to control some stored product insects. **Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications**, v. 51, n. 4, p. 81-88, 2018

GUERRA, DE M. A. M. N., DOS SANTOS SILVA, D., SANTOS, P. S., DOS SANTOS, L. B. Teste de repelência de óleos essenciais sobre *Callosobruchus maculatus*. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 3, 2019.

GUIMARÃES, S. S., POTRICH, M., SILVA, E. R. L. D., WOLF, J., PEGORINI, C. S., OLIVEIRA, T. M. D. Ação repelente, inseticida e fagoinibidora de extratos de pimenta dedo-de-moça sobre o gorgulho do milho. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 81, p. 322-328, 2014.

HADDI, K., OLIVEIRA, E. E., FARONI, L. R., GUEDES, D. C., MIRANDA, N. N. Sublethal exposure to clove and cinnamon essential oils induces hormetic-like responses and disturbs behavioral and respiratory responses in *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of economic entomology**, v. 108, n. 6, p. 2815-2822, 2015.

HE, F., SUN, S., TAN, H., SUN, X., QIN, C., JI, S., JIANG, X. Chlorantraniliprole against the black cutworm *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae): From biochemical/physiological to demographic responses. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2019.

HERNANDEZ-LAMBRANO, R., PAJARO-CASTRO, N., CABALLERO-GALLARDO, K., STASHENKO, E., OLIVERO-VERBEL, J. Essential oils from plants of the genus *Cymbopogon* as natural insecticides to control stored product pests. **Journal of Stored Products Research**, v. 62, p. 81-83, 2015.

IBRAHIM, AM; ALI, AM. Nanopartículas de óxido de prata e zinco induzem alterações fisiológicas e de desenvolvimento nos estágios larval e pupal de *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 21, n. 4, pág. 1373-1378, 2018.

JAHROMI, M. G., POURMIRZA, A. A., SAFARALIZADEH, M. H. REPELLENT effect of sirinol (garlic emulsion) against *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) and *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) by three laboratory methods. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 2, p. 280-288, 2012

JAIROCE, C. F., TEIXEIRA, C. M., NUNES, C. F., NUNES, A. M., PEREIRA, C. M., GARCIA, F. R. Insecticide activity of clove essential oil on bean weevil and maize weevil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 72-77, 2016.

JOÃO, C. P. D. S., RODRÍGUEZ, Y. P., HERRERA, R. V., GONZÁLEZ, L. C., SÁNCHEZ, A. Á. Actividad de los polvos vegetales de *Eugenia asperifolia* O. Berg sobre *Sitophilus oryzae* L. **Revista Científica Agroecosistemas**, v. 8, n. 3, p. 153-157, 2020.

KUME, J. E. P., JUNIOR, R. A., DI-TANNO, M. F. P., KOZUSNY-ANDREANI, D. I. Uso de óleos essenciais in natura e ozonizados no controle in vitro de *Trichophyton*

- mentagrophytes. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e4710111233-e4710111233, 2021.
- LEE, L. T., GARCIA, S. A., MARTINAZZO, A. P., DE SOUZA TEODORO, C. E. Fungitoxidade e composição química do óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis*) sobre o *Aspergillus flavus*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e202985628-e202985628, 2020.
- LEHANE M J. Peritrophic matrix structure and function. *Ann Rev Entomol* 42: 525-550, 1997.
- MANSOUR, S., I; SLEEM, F. M. Contact toxicity, repellent activity and residual effect of *Syzygium aromaticum* L. (Myrtaceae) and *Piper nigrum* L. (Piperaceae) powders against *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). 2020.
- MEDHINI, N., DIVAKAR, Y.G, MANJULAKUMARI, D., Effect of *Calendula officinalis* extracts on the nutrient components of different tissues of tobacco cutworm, *Spodoptera litura* Fabricius. **J. Biopest.** 5, 139-144. 2012.
- MEDHINI, N., PALAKSHAPRABHU, DIVAKAR, Y.G., KUNTAL DAS MANJULAKUMARI, D. Effect of *Calendula officinalis* L. extracts on food consumption and utilization of *Spodoptera litura*. *Karnataka J. Agricul. Sci.* 22 (3), 621-623. 2009
- NARAYANAN, A., RAMANA, K. V. Synergized antimicrobial activity of eugenol incorporated polyhydroxybutyrate films against food spoilage microorganisms in conjunction with pediocin. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 170, n. 6, p. 1379-1388, 2013.
- NATION, J. L. **Insect physiology and biochemistry**. CRC press, (Ed 4).2022
- OMAR, S., MARCOTTE, M., FIELDS, P., SANCHEZ, P. E., POVEDA, L., MATA, R., PHILOGENE, B. J. R. Antifeedant activities of terpenoids isolated from tropical Rutales. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, n. 1, p. 92-96, 2007.
- PEDOTTI-STRIQUER, L., BERVIAN, C. I. B., FAVERO, S. Ação repelente de plantas medicinais e aromáticas sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 10, n. 1, p. 55-62, 2006.
- PLATA-RUEDA, A.; CAMPOS, J. M.; DA SILVA ROLIM, G.; MARTÍNEZ, L. C.; DOS SANTOS, M. H.; FERNANDES, F. L.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C Terpenoid constituents of cinnamon and clove essential oils cause toxic effects and behavior repellency response on granary weevil, *Sitophilus granarius*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 156, p. 263-270, 2018.
- QUEIROZ, A. M., GOMES, F. A., DE OLIVEIRA QUEIROZ, S. L., DE FREITAS, H. J., ROSA, B. L., & DE SOUZA, E. M. Avaliação bromatológica de milho armazenado em

embalagens com ausência de oxigênio e umidade. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 38942-38959, 2020.

RAMSHA, A., SALEEM, K. A., SABA, B. Repellent Activity of Certain Plant Extracts (Clove, Coriander, Neem and Mint) Against Red Flour Beetle. **American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)**, v. 55, n. 1, p. 83-91, 2019.

Ribeiro, I. A. T., da Silva, R., da Silva, A. G., Milet-Pinheiro, P., Paiva, P. M. G., Navarro, D. M. D. A. F., dos Santos Correia, M. T. Ingrid Ayslane Torres et al. Chemical characterization and insecticidal effect against *Sitophilus zeamais* (maize weevil) of essential oil from *Croton rudolphianus* leaves. **Crop protection**, v. 129, p. 105043, 2020.

ROCKSTEIN, M (Ed.). **Biochemistry of insects**. Elsevier, 2012.

RODRIGUES, A. C., WIATER, G., PUTON, B. M. S., MIELNICZKI-PEREIRA, A. A., PAROUL, N., CANSIAN, R. L. Atividade repelente e inseticida do óleo essencial de *Baccharis dracunculifolia* DC sobre *Sitophilus zeamais* Mots, 1855. **PERSPECTIVA, Erechim**. v. 43, n.161, 2019.

SAAD, M. M., ABOU-TALEB, H. K., ABDELGALEIL, S. A. Insecticidal activities of monoterpenes and phenylpropenes against *Sitophilus oryzae* and their inhibitory effects on acetylcholinesterase and adenosine triphosphatases. **Applied entomology and zoology**, v. 53, n. 2, p. 173-181, 2018.

SANTOS, O. O., DE OLIVEIRA, R. A., DOS SANTOS, E. A., DE ANDRADE BOMFIM, J. P., BITTENCOURT, M. A. L. Atividade de Espécies Botânicas (Piperaceae e Myrtaceae) na Oviposição e Mortalidade de Adultos de *Anastrepha* spp.(Diptera: Tephritidae). **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 4, p. 424-431, 2021.

SANTOS, P. É. M., DA SILVA, A. B., DE MAGALHÃES LIRA, C. R. I., MATOS, C. H. C., DE OLIVEIRA, C. R. F. CONTACT TOXICITY OF ESSENTIAL OIL OF *Croton Pulegioidorusbaill* ON *Sitophilus Zeamaismotschulsky*. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 329-335, 2019.

SANTOS, R. D., JÚNIOR, V. L., CASTRO, E. D., BALTHAR, V. D. O., GRECO, S. J. Uso de métodos quimiométricos e mecânico-quanticos na análise de terpenóides e fenilpropanóides bioativos contra o *Aedes aegypti*. **Orbital: Electron J Chem**, v. 4, p. 273-288, 2009.

SAYED, M.R., FAYEY, A., BAKRY, MANSOUR, A.A.H. Biochemical and histopathological effect of crude extracts on *Spodoptera littoralis* larvae. *J. Evol. Biol. Res.* 3(5), 67-78. 2011.

SEBAALY, C., JRAIJ, A., FESSI, H., CHARCOSSET, C. Preparation and characterization of clove essential oil-loaded liposomes. **Food chemistry**, v. 178, p. 52-62, 2015. Greige-Gerges,

H

- SILVA, C.T.S., V. WANDERLEY-TEIXEIRA, F.M. CUNHA, J.V. OLIVEIRA, K.A. DUTRA, D.M.A.F. NAVARRO., A.A.C. Teixeira. Biochemical parameters of *Spodoptera frugiperda* (J. E. 48 Smith) treated with citronella oil (*Cymbopogon winterianus* Jowitt ex Bor) and its influence on reproduction. **Acta Histochem.** 118: 347-352, 2016.
- SILVA, M. R., DE FARIAS, P. M. O óleo essencial de *Pimenta racemosa* é eficiente inseticida para controle de *Sitophilus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) em grãos armazenados. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 26, n. 1, p. 7-17, 2020.
- SILVA, T. L. D., OLIVEIRA, C. R. F. D., Matos, C. H. C., Badji, C. A., Morato, R. P. LEAF ESSENTIAL OIL FROM *Croton pulegioides* Baill SHOWS INSECTICIDAL ACTIVITY AGAINST *Sitophilus zeamais* Motschulsky1. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 354-363, 2019.
- SOE, T. N., NGAMPONGSAI, A., SITTICHAYA, W. WISUT. Bioactivity of some plant essential oils for seed treatment against pulse beetle, *Callosobruchus maculatus* (F.)(Coleoptera: Bruchidae) on mung bean. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v. 26, n. 1, p. 141-147, 2020.
- SOUZA, G. N., DE ANDRADE, I. G. V., DA PAZ, C. D., PEIXOTO, A. R., DANTAS, B. F., ARAGÃO, C. A. Potencial de óleos essenciais na inibição de *Alternaria* e no vigor de semente de coentro. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e36291211210-e36291211210, 2020.
- STEELE, J. E. Glycogen phosphorylase in insects. **Insect Biochemistry**, v. 12, n. 2, p. 131-147, 1982.
- SULEIMAN, M., RUGUMAMU, C.P., IBRAHIM, N.D. Insecticidal toxicity of some botanical extracts against *S. zeamais* Motsch (Coleoptera: Curculionidae) in stored sorghum grain in Nigeria. **Journal of Entomology and Zoology Studies**, v. 6, n. 1, p. 128-187, 2018.
- TAPONDJOU, A. L., ADLER, C. F. D. A., FONTEM, D. A., BOUDA, H., REICHMUTH, C. H. Bioactivities of cymol and essential oils of *Cupressus sempervirens* and *Eucalyptus saligna* against *Sitophilus zeamais* Motschulsky and *Tribolium confusum* du Val. **Journal of Stored Products Research**, v. 41, n. 1, p. 91-102, 2005.
- UPADHYAY, R. K., YADAV, N., AHMAD, S. Insecticidal potential of *Capparis decidua* on biochemical and enzymatic parameters of *Tribolium castaneum* (Herbst). **Acta Universitatis Sapientiae Agriculture and Environment**, v. 3, p. 45-67, 2011.
- WU, M. Y., YING, Y. Y., ZHANG, S. S., LI, X. G., YAN, W. H., YAO, Y. C., YANG, F. L. Effects of diallyl trisulfide, an active substance from garlic essential oil, on energy metabolism in male moth *Sitotroga cerealella* (Olivier). **Insects**, v. 11, n. 5, p. 270, 2020.
- YANG, K., WANG, C. F., YOU, C. X., GENG, Z. F., SUN, R. Q., GUO, S. S., DENG, Z. W. Bioactivity of essential oil of *Litsea cubeba* from China and its main compounds against two stored product insects. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 17, n. 3, p. 459-466, 2014.

4. COMPORTAMENTO REPELENTE E RESPOSTA OLFATIVA DE *Callosobruchus Maculatus*. (Fabricus) (COLEOPTERA: BRUCHIDAE) PARA O ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO E SEU COMPOSTO MAJORITÁRIO EUGENOL

RESUMO

Inseticidas sintéticos são eficazes no controle de pragas de grãos armazenados, no entanto, podem ser tóxicos para humanos e animais, além de ocasionar resistência de insetos a inseticidas. Compostos com potencial inseticida de plantas surgem como alternativas para o controle dessas pragas. Os óleos essenciais consistem em uma variedade de substâncias biológicas ativas e orgânicas, que podem atuar no controle pragas de grãos armazenados por toxicidade, fumigação e repelência, além de provocar efeitos comportamentais que reduzem ou inibem o ataque aos grãos, reduzindo danos de pós-colheita. Diante o exposto, objetivou-se avaliar comportamento repelente e resposta olfativa de *Callosobruchus Maculatus* para o óleo essencial de cravo da índia e seu composto majoritário eugenol. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Controle Alternativo de Pragas (LECAP) no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA-UFAL), e no Laboratório de Pesquisa em Ecologia Química -UFAL, Campus Maceió/AL. Os tratamentos utilizados no estudo foram: o óleo essencial de cravo da índia e seu composto majoritário eugenol, em todas as concentrações testadas apresentaram efeito por contato, fumigação e repelência, destacando os resultados encontrado com eugenol em menores concentrações quando comparado ao óleo essencial. Todos os tratamentos reduziram o número de ovos e emergência de adulto quando comparados ao controle. A eletroantenografia constatou percepção do inseto *C. maculatus* ao eugenol, tanto ele presente no óleo essencial quanto ele testado puro, com ajuda do olfatômetro comprovou que o eugenol tanto puro quanto presente no óleo de cravo exerceu uma repelência significativa. Conclui-se que o óleo essencial de cravo da índia e o eugenol, principalmente o eugenol puro, tem efeito de toxicidade e causam efeitos adversos na reprodução e no comportamento de *C. maculatus*, alterando parâmetros essenciais para sua sobrevivência e estabelecimento em grãos armazenados.

Palavras-chave: Grãos armazenados; Inseticida natural; Manejo Integrado; repelente botânico.

4.1.INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma cultura importantíssima para agricultores das regiões Norte e Nordeste do Brasil, constituindo-se em uma das principais fontes de proteínas e energia para grande parte da população rural, apresentando amplo significado social. No entanto, um armazenamento adequado do feijão-caupi se faz necessário a fim de preservar seus valores quantitativos e qualitativos, evitar a escassez na entressafra e a oscilação de preços no mercado. Durante o período de armazenamento os grãos não se encontram livres da infestação de insetos-praga, aos quais são responsáveis por ocasionar danos de deterioração, diminuindo peso de grão sua qualidade nutricional e possibilitando a introdução de contaminantes secundários, como fungos, e micotoxinas (MONICO et al., 2018; FRANÇA et al., 2018)

Callosobruchus maculatus (Fabr., 1775) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae), comumente conhecida como caruncho-do-feijão, é a espécie considerada como a sua mais importante praga, por provocar danos diretos e indiretos (VENTURY et al., 2022). Possui a capacidade de infestação cruzada, ou seja, o ataque desse inseto pode ocorrer no campo quando as fêmeas podem ovipositar em média 70 ovos, sendo capaz de infestar os grãos inteiros e sadios. Já as larvas se alimentam internamente dos grãos até completarem todo o ciclo, tornando os impróprios para consumo, inviáveis para replantio e comercialização (SILVA et al., 2020; SANTOS et al., 2018).

O controle dessas pragas são feitos com inseticidas químicos sintéticos, aplicados nas modalidades de pulverização e fumigação. Para o controle de *C. maculatus* em feijão-caupi no Brasil há apenas um produto registrado no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - o Degesch-Fumicel® que é um inseticida de classe toxicológica I (altamente tóxico), de uso restrito apenas para a Fumigação (expurgo) de produtos agrícolas armazenados, sua ação é essencialmente citotóxica, é altamente perigoso ao meio ambiente, podendo provocar resistência de insetos ao princípio ativo, contaminação dos grãos por acúmulo de resíduos tóxicos, extremamente tóxico para mamíferos (MOURA et al., 2019; AGROFIT, 2017).

Os óleos essenciais dentre os extratos botânicos, surgem como alternativa de controle economicamente viável e ecologicamente correto, e promissora devido à sua disponibilidade mundial e relativa relação custo-benefício, pois, são substâncias complexas e voláteis, cujos princípios ativos, e seus constituintes monos e sesquiterpenóides são neurotoxinas de ação rápida em insetos, possivelmente interagindo com vários tipos de receptores. Esses compostos também exibem efeitos comportamentais subletais potencialmente importantes em insetos-

praga, podendo agir sobre o sistema nervoso dos insetos, causando assim, efeitos toxicológicos e repelente, alterando o desenvolvimento do inseto e reduzindo a sua alimentação (ISMAN et al., 2020).

A percepção desses compostos pelos insetos depende em seus neurônios receptores olfativos, principalmente nas sensilas antenais, em relação à eficácia, nota-se que os óleos essenciais apresentam um efeito em termos de mudança de comportamento em insetos adultos, pois repelem as fêmeas que, assim, se abstêm de ovipositar nas áreas tratadas, diminuindo assim seu potencial de causar danos (CEBALLOS et al., 2015; SPINOZZI et al., 2021).

Dentre as plantas com potencial inseticida para pragas de grãos armazenados, destaca-se o cravo da Índia (*Syzygium Aromaticum*) amplamente relatado, com a capacidade de controlar vários tipos de pragas, além da baixa persistência no meio ambiente, e baixa toxicidade aos inimigos naturais (IKAWATI et al., 2021). Pesquisadores relatam o efeito tóxico do óleo essencial de cravo da Índia sobre diversas pragas de grãos armazenado, no entanto, deve-se notar que a atividade biológica pode não estar associada à sua mortalidade, efeitos subletais também podem ser significativos como efeitos letais. Para o sucesso do manejo dessas pragas, com o conhecimento sobre a capacidade dos insetos em interpretar estímulos em seus arredores, é possível traçar estratégias para manipular atividades comportamentais. O impacto de produtos naturais sobre insetos é variável e pode ser tóxico, repelente, atratividade, causar esterilidade, modificar o comportamento, desenvolvimento, ou reduzir a alimentação. (RUEDA et al., 2018; ABOELHADID et al., 2021)

Decorrente ao exposto e a importância de alternativas eficientes para a substituição do controle químico de pragas de grãos armazenados objetivou-se avaliar a toxicidade do óleo essencial de *S. aromaticum* e seu composto majoritário sobre adultos de *C. maculatus*, além do efeito sobre o comportamento repelente e resposta olfativa do inseto.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Entomologia: Controle Alternativo de Pragas e no Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais (LPqRN) localizado no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no município de Maceió, Alagoas.

4.2.1. Criação de *Callosobruchus maculatus* Fabr. 1775 (Coleoptera: Bruchidae)

Os insetos foram mantidos no Laboratório de Entomologia Controle Alternativo de Pragas- LECAP da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) – Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Os grãos utilizados na criação e para montagem dos experimentos foram mantidos no freezer durante dez dias a uma temperatura de 10°C para eliminar eventuais infestações provenientes do campo e/ou das casas comerciais. Após o tempo de freezer, foram transferidos para recipientes de vidros totalmente vedados, durante dez dias com a finalidade de atingirem o equilíbrio higroscópico. Os insetos foram criados em recipientes de vidro com capacidade de 2,5L com tampa contendo uma abertura revestida com tecido voil para ventilação, o feijão-caupi foi acondicionados no interior dos recipientes até a metade do volume. Objetivando manter a criação e desenvolvimento dos experimentos, eram realizadas infestações quinzenais, utilizando recipientes de vidro, permanecendo nesse ambiente por 10 dias, logo em seguida, esses eram eliminados do recipiente e aguardados a geração F1.

4.2.2. Obtenção, análise cromatográfica, espectrometria de massas e identificação química do óleo essencial de *Syzygium aromaticum*

O óleo essencial de *S. aromaticum* foi adquirido na empresa especializada Quinarí Casa das Essências – Ponta Grossa/PR. De acordo com o laudo técnico da empresa, o produto é 100% puro, isento de solvente e diluente, país de origem Indonésia, proveniente de destilação a vapor das folhas e botões florais.

Para a confirmação da análise química das substâncias presentes no óleo essencial de cravo, foi realizada a cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM) no Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais (LPqRN) da UFAL. As amostras foram injetadas no CG/EM modelo 2010 PLUS, Shimadzu, em uma coluna Nist-01 (100% Dimetilpolisiloxano) com (30 m, d. 0,25 mm). As condições do método usado foram as seguintes: injetor com a temperatura 250 °C no modo Split (com divisão de fluxo), a coluna iniciando com 60 °C/3 min, seguido por gradiente de 6 °C/min até atingir 210 °C, em seguida aumentou 15 °C/min até atingir 300 °C mantido.

4.2.3. Teste de toxicidade por contato

Para o teste de contato foram utilizados recipientes de 150 mL, fechados com tecido fino transparente tipo voil para permitir as trocas gasosas com o exterior e impedir a fuga dos insetos. Foram adicionados o óleo e o Eugenol nas sementes de feijão-caupi com pipetador automático, no interior de recipientes de vidro, os quais foram agitados manualmente durante dois minutos. Cada repetição de 40 g de feijão foi infestada com 16 adultos não sexados de *C. maculatus* com 0 - 24 h de idade. Após 48 h de confinamento, foram determinadas as

porcentagens de mortalidade. Foram realizados testes preliminares em diferentes concentrações para determinar valores próximos do Limite Superior (LS) e Limite Inferior (LI). A partir da fórmula de Bliss, foram definidas as concentrações para o bioensaio definitivo, estimando a CL50 e CL99. Os dados foram analisados por Probit usando o Programa SAS para estimar as concentrações letais CL50 e CL95 de cada tratamento.

4.2.4. Teste de fumigação

As câmaras de fumigação foram feitas em recipientes de vidro com 1,3 L de capacidade, onde foram confinados 20 adultos de *C. maculatus*, não sexados, com 0 a 24 h de idade e 40g de feijão-caupi. Os tratamentos foram adicionados em papéis filtros e colocados dentro de sachês de chá para evitar o contato direto do óleo essencial e Eugenol com os insetos, os recipientes foram vedados com tampa própria para o recipiente. Decorridas 48 h da montagem foi avaliado a porcentagem de mortalidade. Foram realizados testes preliminares em diferentes concentrações para determinar valores próximos do Limite Superior (LS) e Limite Inferior (LI). A partir da fórmula de Bliss, foram definidas as concentrações para o bioensaio definitivo, estimando a CL50 e CL99. Os dados foram analisados por Probit usando o Programa SAS para estimar as concentrações letais CL50 e CL95 de cada tratamento.

4.2.5. Teste Repelência

Para o índice de comportamento foram realizados testes baseados nas concentrações subletais do experimento de contato, utilizando uma arena contendo três potes de vidro, sendo um central interligado aos demais por cilindros de vidro. Em um dos potes das extremidades foram colocados 20 g de feijão misturados com a quantidade de óleo essencial ou eugenol de cada concentração, e no outro apenas os 20g de feijão (testemunha). No pote central foram liberados 16 adultos não sexados de *C. maculatus*, recém-emergidos, os insetos contidos em cada recipiente foram quantificados após 48 h, para avaliação da repelência.

O Índice de Repelência (IR) foi calculado pela fórmula: $IR = 2G/(G + P)$, onde G = % de insetos atraídos no tratamento e P = % de insetos atraídos na testemunha. Os valores de IR variam entre zero e dois, sendo que IR = 1 indica repelência semelhante entre o tratamento e a testemunha (tratamento neutro), IR > 1 indica menor repelência do tratamento em relação à testemunha (tratamento atraente) e IR < 1 corresponde à maior repelência do tratamento em relação à testemunha (tratamento repelente). O intervalo de segurança utilizado para considerar se o óleo essencial é ou não repelente foi obtido, a partir da média dos IR (índice de repelência) e do respectivo desvio padrão (DP), ou seja, se a média dos IR for menor que 1 - DP, óleo essencial ou eugenol é repelente; se a média for maior que 1 + DP é atraente e se a média estiver

entre $1 - DP$ e $1 + DP$, é considerado neutro. Este índice é uma adaptação da fórmula citada por Lin et al. (1990) para índice de consumo.

4.2.6. Oviposição e Emergência

Após a avaliação da repelência, os insetos e os grãos foram separados em potes de vidros fechados com tecido voil de acordo com seus tratamentos. Ao se passarem 5 dias da montagem do experimento de repelência, foram descartados os insetos e foram realizados a contagem de ovos férteis e inférteis, e em seguida os grãos foram devolvidos aos seus respectivos potes. Os recipientes contendo os grãos, foram mantidos nas condições para avaliação do número de adultos emergidos diariamente até 5 dias seguidos sem emergir nenhum inseto, contabilizando em machos e fêmeas.

4.2.7. Cromatografia gasosa acoplada a eletroantenografia (CG- EAG)

Para verificar a atividade se o composto eugenol é eletrofisiologicamente ativo para *C. maculatus* foi realizado análise em Cromatografia Gasosa acoplada à Eletroantenografia (CG-EAG) com extratos de óleo de cravo e do composto eugenol diluídos em hexano HPLC com concentração de 100 ppm. Foi usado uma alíquota de 1 μ L dos extratos em cromatógrafo a gás acoplado ao detector por ionização de chamas (FID) modelo Shimadzu QP-2010, operado no modo “split”, com coluna capilar RTX-5 (30 m, 0,25 mm d. i., 0,25 μ m; Restek®), onde o efluente da coluna foi dividido em duas linhas, uma levou ao detector DIC e a outra ao EAG. As condições de operação para separação dos componentes das amostras foi inicialmente de 100 °C, aumentando 12 °C por minuto até atingir 250 °C. O gás de arraste utilizado foi o nitrogênio, com fluxo de 1,70 ml/min.

As antenas dos insetos foram cortadas junto com a parte da cabeça, sem que fosse necessário adormecê-los, e cada inseto foi considerada uma repetição, sendo que, foram realizadas seis repetições para cada extrato.

Os sinais foram registrados através do amplificador de alta impedância (IDAC4, Syntech 2004), sendo que as respostas do EAG e a análise do FID foram registrados simultaneamente pelo software Autopike32, Syntech 2008. Na análise das respostas do CG-EAG foram observadas a relação entre o sinal do EAG absoluto e os ruídos da linha base e presença do pico correspondente do composto eugenol registrados pela CG-FID.

4.2.8. Bioensaio em olfatômetro Y

Os extratos de óleo de cravo e do composto eugenol foram preparadas em solvente hexano grau HPLC diluídos até a concentração de 100 ppm.

A resposta comportamental de adultos de *C. maculatus* para os extratos de óleo de cravo e composto eugenol foi verificada usando o olfatômetro em Y, operado com um fluxo de ar contínuo de 0,8 L/min, previamente umidificado e filtrado com carvão ativado.

A fonte de odor utilizada foi um pedaço de papel de filtro (2 x 2 cm) com 10 µL dos extratos ou hexano (controle), que foram incluídos na base de cada braço do olfatômetro. Os insetos foram introduzidos na base do tubo principal e seu comportamento foi observado durante 5 min. À resposta foi registrada quando o besouro caminhava até a porção correspondente a 75% do braço escolhido. E como não resposta, quando o inseto não caminhava contra o fluxo de ar e/ou não atingia a porção considerada durante o tempo observado.

Em cada bioensaio, foram testados 40 insetos sendo considerado cada espécime uma repetição. A fonte de odor foi trocada a cada indivíduo testado. Os experimentos foram realizados no período entre 11:00 e 14:00 horas.

Para análise dos dados das respostas de *C. maculatus* para os diferentes tratamentos em olfatômetro, os dados foram transformados em porcentagem e foi usado o teste Qui-quadrado através do Software SAS. Os insetos não respondentes, que não escolheram nenhum dos braços, foram excluídos da análise estatística.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Teste de toxicidade por contato

Observa-se o efeito de toxicidade do óleo essencial de cravo da índia e do seu composto majoritário Eugenol pelo teste de contato em insetos adultos de *C. maculatus*, sendo a concentração letal de 95% (CL95) de 12,69 µL/L e a CL50 de 3,27 µL/L para o óleo essencial, já o eugenol apresentou CL 95 com 6,49 µL/L e Cl 50 de 1,68 µL/L de acordo com os dados obtidos na análise de Probit (tabela 1).

Tabela 1. Toxicidade por efeito de contato do óleo essencial cravo da índia e o composto sintético eugenol sobre o *Callosobruchus maculatus*

Produto	N	Inclinação±(EP)	CL ₅₀ (95% IC)	CL ₉₉ (95%IC)	X ²
Óleo essencial de cravo-da-índia	400	2,795±0,214	3,277 (2,848-3,767)	12,699 (10,220-6,780)	4,619
Eugenol	400	3,971±0,365	1,685 (1,460-1,950)	6,49 (4,854-10,214)	9,31

N = Número de insetos, EP = erro padrão da média, IC = intervalo de confiança, CL = Concentração Letal, χ^2 = Qui-quadrado (significativo ao nível de 5% de probabilidade).

Moura et al. (2019), justifica o efeito de mortalidade de adultos de *C. maculatus* com óleos essenciais, que se deve aos seus compostos voláteis como os terpenóides. O contato gasoso de óleos essenciais é neurotóxico, atuando na inibição da acetilcolina (ACh), afetando a membrana celular da bicamada lipídica, o sistema respiratório e a produção de energia, aumentando assim, sua toxicidade para insetos. A eficácia desses óleos depende de fatores como superfície de aplicação, composição, condições ecológicas, dose ou concentração, método de aplicação e extração, via de penetração, partes da planta, estação do ano e espécies de insetos.

Pesquisa desenvolvidas mostram que óleos essenciais podem ser usados como alternativa aos inseticidas sintéticos para o manejo de *C. maculatus* no armazenamento de sementes de feijão. Nattudurai et al. (2017), demonstraram o efeito inseticida por contato do óleo essencial *Atalantia monophylla* em *C. maculatus*, relacionando a mortalidade dos insetos devido à redução do teor de proteína, genes de transportadores de glicose GST, esterase e Atividade AC.

Eugenol apresenta efeito de mortalidade em menores concentrações, é o composto majoritário do óleo essencial de cravo da Índia que pertence aos monoterpenos, um grande grupo de compostos voláteis e lipofílicos que são capazes de penetrar rapidamente no interior dos insetos e interferir em suas funções fisiológicas, em aplicação por contato, o eugenol e outros monoterpenos são inseticidas de ação rápida que são eficazes em uma ampla variedade de insetos, interrompendo a transmissão octopaminérgica no sistema nervoso do inseto (SAAD et al., 2018). Em trabalho semelhante González et al. 2019, testando o eugenol sobre *C. maculatus* exibiu boa atividade inseticida, revelaram que o eugenol pode fazer parte de um programa integrado de manejo em instalações de armazenamento.

4.3.2. Teste de Fumigação

De acordo com os dados obtidos na análise de Probit, o óleo essencial de cravo da Índia e o eugenol apresentou efeito fumigante sobre *C. maculatus*, sendo a concentração letal de óleo para matar 95% da população (CL95) de 13,212 µL/L de ar e a CL50 correspondendo a 4,27 µL/L de AR, e para o composto majoritário a CL95 e CL50, foram de 6,39 e 2,05 µL/L de AR, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Estimativas das Concentrações letais por efeito de fumigação do óleo essencial cravo da índia e o composto sintético eugenol sobre o *Callosobruchus maculatus*

Produto	N	Inclinação $\pm$ (EP)	CL ₅₀ (95% IC)	CL ₉₉ (95%IC)	X ²
Óleo essencial de cravo-da-índia	400	4,743 $\pm$ 0,503	4,27 (3,675- 4,963)	13,212 (10,045-20,83)	10,76
Eugenol	400	3,343 $\pm$ 0,341	2,059 (1,68-2,513)	6,391 (4,78-10,077)	11,26

N = Número de insetos, EP = erro padrão da média, IC = intervalo de confiança, CL = Concentração Letal, χ^2 = Qui-quadrado (significativo ao nível de 5% de probabilidade).

Corroborando com o presente estudo, Devi et al. (2021) constatou efeito fumigante do óleo essencial de *Tithonia diversifolia* em pragas de grãos armazenados, destacando que com o aumento da dosagem e tempo de exposição, a atividade fumigante também aumenta.

Satongrod et al. (2021), constatou efeito de toxicidade da fumigação do óleo essencial de *W. trilobata* como um alto potencial para eficácia no controle de *C. maculatus*, característica desejada para o desenvolvimento de novas alternativas de produtos para o controle seguro e eficaz de pragas de produtos armazenados sob programas de manejo integrado de pragas (MIP). Guettal et al. (2021), encontraram efeito fumigante do óleo essencial de *Citrus limonum* sobre o gorgulho do celeiro, justificando que o óleo age penetrando através do trato respiratório do alvo causando sua morte.

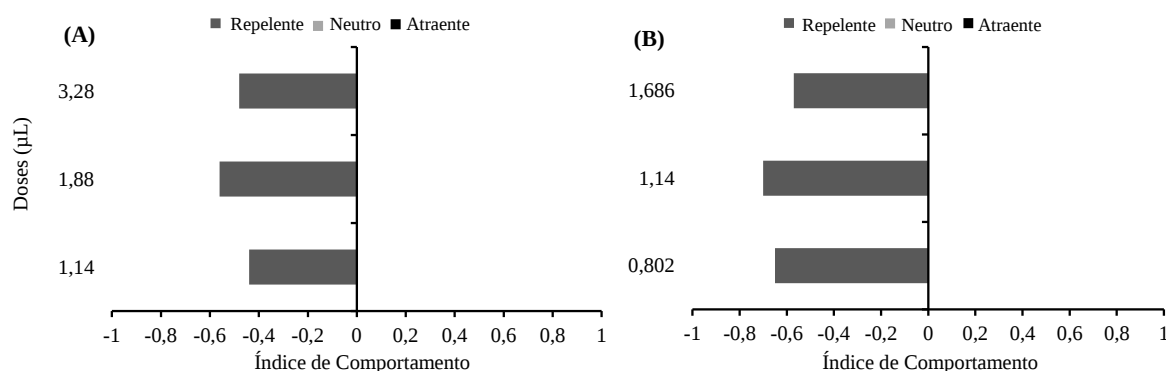
Utilizando o composto majoritário do óleo essencial de *Lavandula spica*, Kheloul et al. (2020), observaram alta toxicidade em certos estágios e ineficácia contra outros estágios de *T. confusum* e constataram também malformações em adultos que eclodiram de pupas tratadas, reduzindo ainda mais o sucesso reprodutivo em adultos não viáveis, concluindo que os voláteis testados podem representar uma alternativa potencial aos inseticidas sintéticos para o controle da praga do produto armazenado.

Zimmermann et al. (2021), justificam que a maior eficácia do método de fumigação está relacionada à alta volatilidade dos principais compostos presentes em óleos essenciais, onde durante a fumigação, os OEs podem ser inalados ou entrar na cutícula do inseto, causando uma alta taxa de mortalidade. Esses compostos afetam o processo respiratório quando entram nos corpos dos insetos pela traqueia, podendo causar um bloqueio dessa via metabólica, causando alterações bioquímicas e fisiológicas, além de distúrbios metabólicos, que levam à asfixia e à morte.

Para o índice de comportamento (Figura 1), nota-se efeito repelente para todas as concentrações testadas tanto para o óleo essencial quando para ser composto majoritário, destacando as concentrações menores de eugenol necessária para o efeito repelente em relação ao óleo essencial de cravo da índia sobre o *C. maculatus*.

4.3.3. Teste Repelência

Figura 1. Índice de comportamento de *Callosobruchus maculatus* (n=16) sob óleo essencial cravo da índia (A) e composto eugenol (B). Repelente (IC < 1); Neutro (IC = 1); Atraente (IC > 1).



Matos et al. (2020), destacam o efeito repelente dos óleos essenciais de suma importância para o manejo de pragas de grãos armazenados, é uma medida comportamental que descreve a extensão da ação aversiva do inseto a substância no organismo testado, contribui para a remoção de insetos dos grãos tratados, resultando na ausência ou diminuição do número de ovos e insetos e consequente redução das perdas causadas por insetos nas unidades de armazenamento.

Pesquisadores relatam o efeito repelente de óleos essenciais sobre adultos de *C. maculatus* como Elhourri et al. (2021), que descreveram efeito repelente do óleo de *Chenopodium ambrosioides*. Já KAYA et al. (2018) obtiveram repelência no gorgulho do feijão utilizando óleos de *Salvia leriifolia* e *Tanacetum parthenium*.

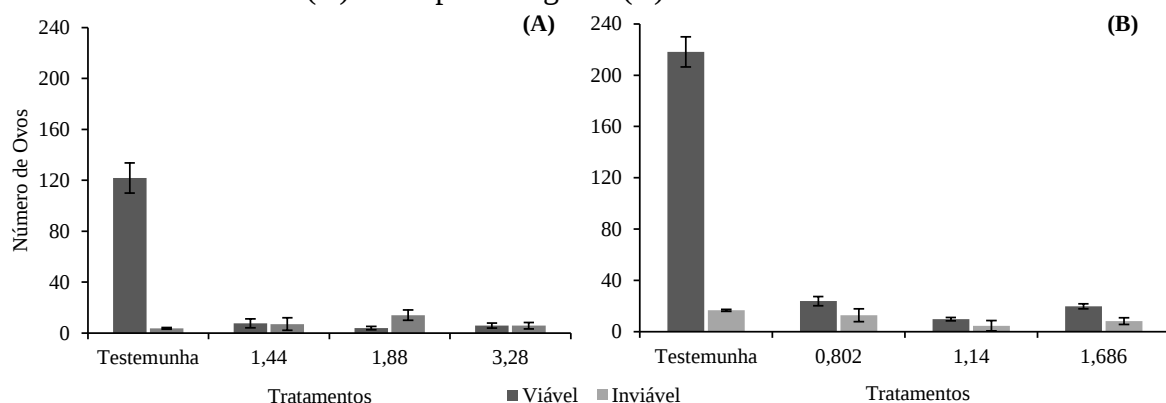
Oliveira et al. (2021), em relação aos óleos essenciais, descrevem que é de grande importância entender o papel de cada constituinte químico na atividade tóxica sobre os insetos, os constituintes químicos em maior quantidade podem apresentar potencial para desinfestação pós-colheita de grãos armazenados, causando efeitos letais e subletais, eles demonstraram que os compostos isolados geraniol e α - pineno dos óleos essenciais utilizados são repelentes em *C. maculatus*.

Houve redução da taxa de oviposição de *C. maculatus* em feijão caupi tratado tanto com o óleo essencial de cravo da índia quanto o eugenol. Para todas as concentrações testadas, o número de ovos foi superior na testemunha quando comparado com os demais tratamentos.

Observando- se também que a quantidade de ovos viáveis são maiores na testemunha (Figura 2).

4.3.4. Teste de Oviposição

Figura 2. Oviposição de *Callosobruchus maculatus* em feijão-caupi sob tratamento com óleo essencial cravo da índia (A) e composto eugenol (B).



Boodram; Khanfoi.(2019), concluíram que óleos essenciais são altamente eficaz como protetor de sementes de feijão contra danos causados por *C. maculatus* e podem ser usados como biopesticidas seguros para a manejo do feijão-caupi armazenado, devido aos principais constituintes do óleo agirem individualmente ou sinergicamente com outros constituintes. Este efeito barreira do óleo essencial, juntamente com a falta de atividade respiratória e acúmulo de metabólitos, poderia explicar a morte de ovos reduzindo a taxa de crescimento populacional e desenvolvimento de *C. maculatus* em feijão-caupi, além disso, a penetração do óleo no ovo do inseto causa efeito tóxico direto, retardando emergência de adultos e causando efeitos adversos na prole.

Por não se alimentarem na fase adulta o *C. maculatus*, visitam os grãos a fim de depositarem seus ovos, portanto, o uso de biopesticidas inibidores de oviposição seriam vantajosos para o manejo dessas pragas de insetos uma vez que são seguros, baratos, livres de resíduos e ecologicamente corretos (OKWOR et al., 2021).

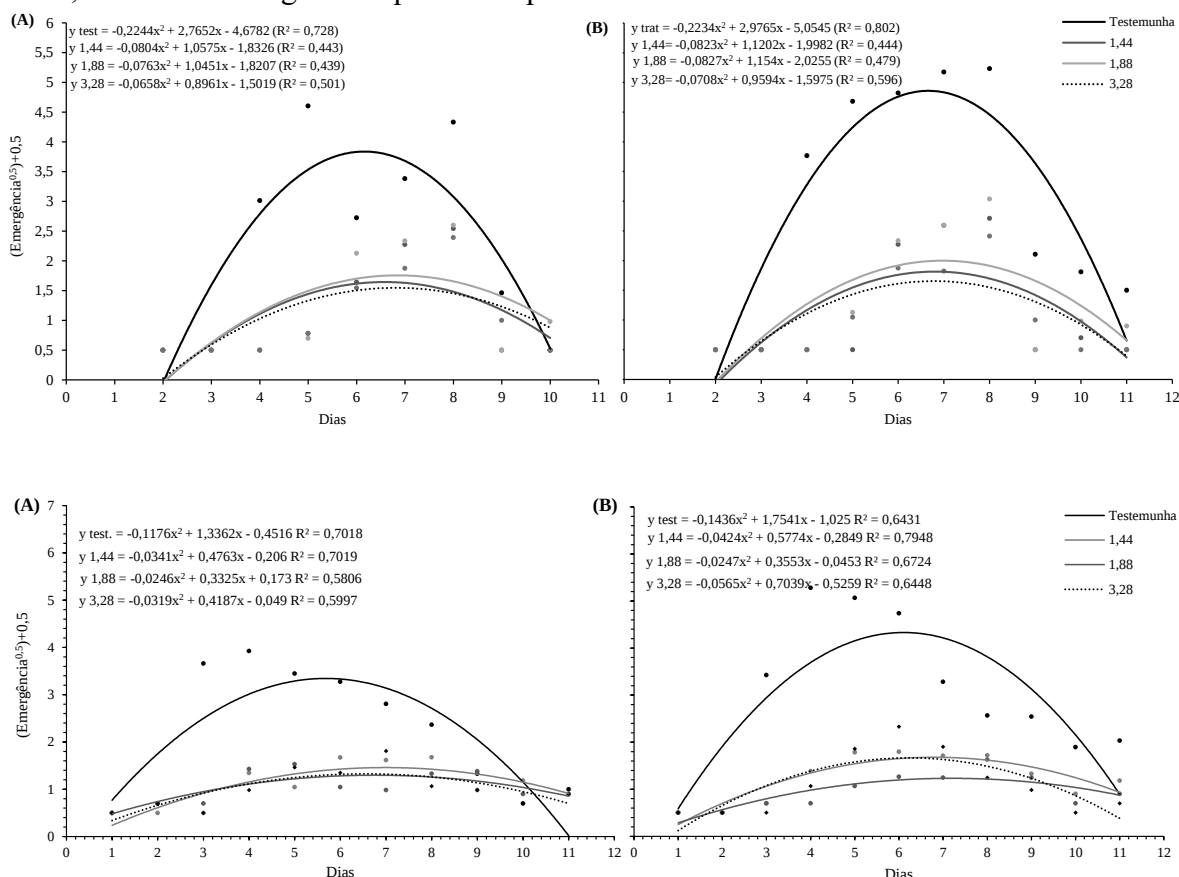
Corroborando com o presente trabalho, El-Sayed et al. (2022), constataram efeito sobre a oviposição de *C. maculatus* ao utilizar óleos essenciais de *Thymus vulgaris* e *Anethum graveolens* apresentaram boas atividades inseticidas tornando-os altamente atraente para seu uso como uma fonte potencial de agentes protetores naturais.

Lazarević et al. (2022), demonstraram que o composto majoritário timol é eficaz no controle de *C. maculatus* por reduzir o crescimento populacional e a sobrevivência do inseto tendo influência direta na oviposição.

Observa-se na figura 3 que a emergência de adultos de *C. maculatus* sofreu influência quando os grãos foram tratados com óleo essencial de cravo da Índia, o número de insetos tanto macho quanto fêmea foi superior na testemunha em relação aos demais tratamentos.

4.3.5. Teste de Emergência

Figura 3. Emergência de *Callosobruchus maculatus* machos (A) e fêmeas (B) em feijão-caupi sob tratamento com óleo essencial cravo da Índia e com Eugenol. Dados transformado em $\sqrt{x}+0,5$. Modelo de regressão quadrática polinomial.



Salem, A. (2019), constatou influência na emergência de adultos de pragas de grãos armazenados tanto com o óleo quanto com o pó de *Eugenia aromática*. O mesmo associa esta ação a metabólitos secundários que estão presentes, e que pode ser responsável pela incapacidade do adulto inseto a emergir, considerando dessa forma, como biopesticidas e não apresentando riscos no manuseio.

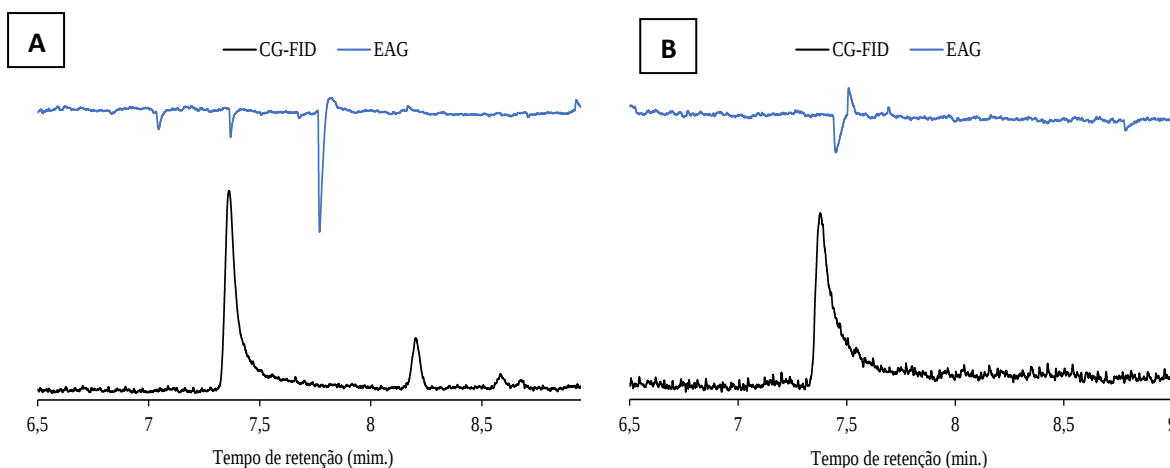
O óleo essencial do marmeleiro tem efeito sobre a fecundidade do gorgulho *C. maculatus*, causando redução na taxa de oviposição, com consequente redução da emergência de insetos adultos à medida que se aumenta as concentrações (SILVA et al.,2019). Ferraz, M. (2018), confirmou a ação inseticida do gênero *Piper* sobre a reprodução em adultos e o desenvolvimento das fases jovens, e as taxas de emergência de *C. maculatus* diminuíram significativamente com o incremento da concentração do óleo essencial de *Piper hispidinervum*.

Santos et al. (2018), encontraram resultado semelhante utilizando óleo essencial de *Lippia sidoides*, que inviabilizou a emergência de insetos adultos indicando possivelmente, uma ação ovicida/larvicida do óleo estudado, ação essa que se deve à presença do composto majoritário carvacrol em sua constituição.

Verificou-se resposta de percepção do inseto *C. maculatus* ao eugenol, tanto ele presente no óleo essencial quanto ele testado puro (Figura 4).

4.3.6. Cromatografia gasosa acoplada a eletroantenografia (CG- EAG)

Figura 4. Resposta eletroantenografica de antena de *Callosobruchus maculatus* para composto eugenol (A) presente no extrato de óleo de cravo diluído a 100 ppm em hexano e para composto eugenol (B) em extrato diluído a 100 ppm em hexano.

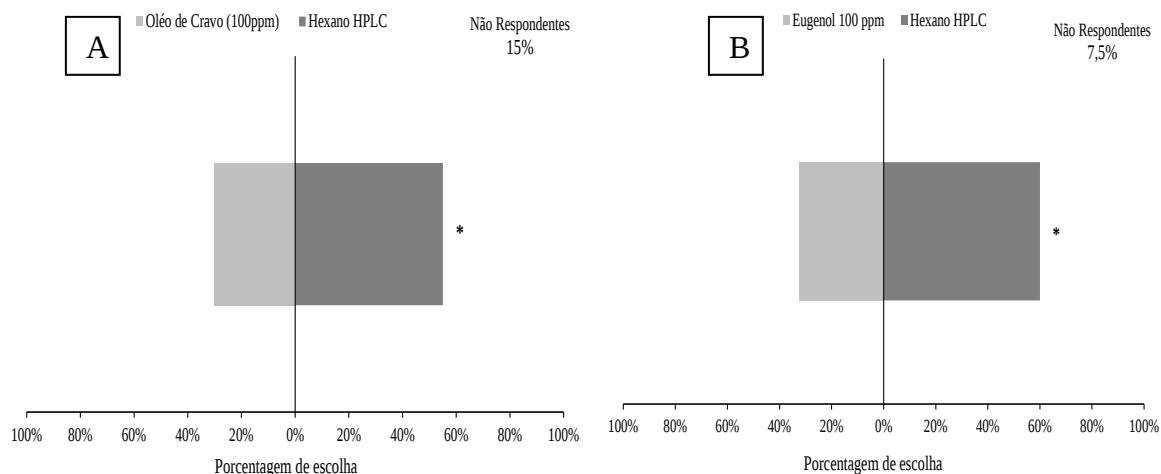


Análises com CG-EAG e olfatômetro de dupla escolha foram realizadas para testar a atividade biológica que o composto eugenol exerce sobre os indivíduos da espécie *C. maculatus*. A eletroantenografia é um bioensaio comumente utilizado para a detecção de voláteis captados pelo aparelho olfativo antenal dos insetos, o método consiste em registrar os potenciais elétricos das antenas fornecendo informações sobre a percepção olfativa dos insetos em estudo (Syntech, 2015). Os testes de eletrofisiologia utilizando uma solução de óleo de cravo a 100 ppm e uma solução do composto eugenol a 100 ppm com antenas de machos e fêmeas do *C. maculatus* indicaram que, o composto eugenol tanto puro quanto em mistura com outros componentes presentes no óleo de cravo, provocou perturbação da antena (Figura 4) sugerindo a possibilidade do composto eugenol gerar ação de repelência para essa espécie.

Utilizando o olfatômetro em Y para uma resposta comportamental nota-se maior preferência do *C. maculatus* pelo hexano em relação à porcentagem de escolha em relação do cravo da índia e do eugenol (Figura 5).

4.3.7. Bioensaio em olfatômetro Y

Figura 5. Resposta comportamental de *Callosobruchus maculatus* (n=40) para extrato de óleo de cravo a 100 wppm e para composto eugenol diluído a 100 ppm em olfatômetro de dupla escolha. (*) indica diferença significativa entre os tratamentos pelo teste Qui-quadrado (GL: 1, X^2 : 4,4234; P= 0,0354).



Para confirmar que o óleo de cravo da índia e o composto eugenol apresentava repelência sobre os indivíduos da espécie *C. maculatus* foram realizados testes biológicos comportamentais utilizando olfatômetro em Y. Neste teste, os insetos tinham que escolher entre a fonte de odor que continha o composto eugenol (puro ou presente no óleo de cravo) e a fonte de odor controle contendo hexano HPLC. No teste utilizando uma solução de óleo de cravo a 100 ppm (Figura 5), foram testados 40 insetos, dos quais 34 escolheram alguma fonte de odor. Dentre estes, 22 seguiram em direção ao hexano, o que representou 55% do total e apenas 12 seguiram em direção à fonte de odor contendo o óleo de cravo.

Também foram testados 40 insetos utilizando uma solução do composto eugenol a 100 ppm (Figura 5), sendo que 37 insetos escolheram alguma fonte de odor, 24 seguiram em direção ao hexano, o que representou 60% do total e apenas 13 seguiram em direção a fonte de odor contendo o composto eugenol. Desta forma, foi possível observar que o composto eugenol tanto puro quanto presente no óleo de cravo exerceu uma repelência significativa para os indivíduos da espécie *C. maculatus*. Ndomo-Moualeu et al (2016) avaliou a resposta comportamental em olfatômetro em Y do *C. maculatus* frente a sete combinações de cinco compostos ativos (1-pentanol, 1-octen-3-ol, (E)-2-octenal, nonanal e 3-careno) extraídos de sementes de ervilha verde. A maioria das combinações mostraram atrativas, enquanto as combinações com 1-entanol, nonanal, e (E)-2-octenal (50:25:25); 1-pentanol e 1-octen-3-ol (50:50) exerceram uma repelência significativa tanto em machos quanto em fêmeas. Paventi et al (2021) avaliou a atividade biológica do óleo essencial extraído por diferentes solventes do lúpulo selvagem

Humulus lupulus (L.) contra indivíduos da espécie *Sitophilus granarius*, os extratos obtidos utilizando metanol como solvente apresentaram uma repelência significativa nos bioensaios com o olfatômetro em Y, sendo a presença de compostos ativos confirmados através da análise por CG-EAG.

O comportamento de repelência pode estar relacionado a atividade locomotora, que pode ser afetada não apenas por estímulos externos como é analisado no caso de ensaio de repelência, mas também pela fisiologia dos insetos. Krzyzowski et al. (2020), observaram a inibição significativa da locomoção dos insetos, logo após a exposição, em todos os grupos tratados, a redução nos grupos tratados pode indicar vários efeitos subjacentes, desde a sedação geral, passando pela perturbação da marcha, para a quebra de sinapses de conectividade (seja neuro neuronal, neuromuscular ou ambos). No entanto, a atividade locomotora diminuída deve resultar em diminuição do consumo de oxigênio, tais resultados sugerem que, embora os insetos não estivessem envolvidos na caminhada, eles podem estar exibindo contrações musculares ou outros processos metabolicamente intensivos relacionados à ação do óleo essencial.

4.4.CONCLUSÃO

O óleo essencial de cravo da índia e seu composto majoritário eugenol, principalmente o eugenol puro, apresentam efeito de toxicidade sobre *C. maculatus* e causam efeitos adversos na sua reprodução e comportamento, alterando parâmetros essenciais para sua sobrevivência e estabelecimento em grãos armazenados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOELHADID, SM; YOUSSEF, IM. Controle do besouro-da-farinha (*Tribolium castaneum*) em rações e rações comerciais de aves por meio de blend de extratos de cravo e capim-limão. **Pesquisa em Ciência Ambiental e Poluição**, p. 1-10, 2021.
- AGROFIT - SISTEMA DE AGROTÓXICOS FITOSSANITÁRIOS. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 15 de nov. de 2017
- BOODRAM, R., KHAN, A. Bioactivity of *Citrus aurantifolia*, *Citrus limon* and *Piper nigrum* essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.)(Coleoptera: Bruchidae). **Journal of Biopesticides**, v. 12, n. 1, p. 76-82, 2019.
- CEBALLOS, R., FERNÁNDEZ, N., ZÚÑIGA, S., ZAPATA, N. Electrophysiological and behavioral responses of pea weevil *Bruchus pisorum* L.(Coleoptera: Bruchidae) to volatiles collected from its host *Pisum sativum* L. **Chilean journal of agricultural research**, v. 75, n. 2, p. 202-209, 2015.
- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 12, décimo levantamento, p. 38-53, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>.
- DEVI, T. B., RAINA, V., SAHOO, D., RAJASHEKAR, Y. Chemical composition and fumigant toxicity of the essential oil from *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Grey against two major stored grain insect pests. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 128, n. 2, p. 607-615, 2021.
- ELHOURRI, M., AMECHROUQ, A., RIFFI, O., FLIOU, J., SABIRI, M. Study of the impact of the essential oil of *Chenopodium ambrosioides* (L.)(Chenopodiaceae) on *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). **International Journal of Environmental Studies**, v. 78, n. 6, p. 1044-1057, 2021.
- EL-SAYED, K. K., EL-SHEIKH, E. S. A., SHERIF, R. M., GOUHAR, K. A. Chemical Composition and Bio-efficacy of Essential Oils Isolated from Seeds of *Anethum graveolens* L., Leaves of *Thymus vulgaris* L., and Nuts of *Myristica fragrans* Houtt. Against *Callosobruchus maculatus* (Fab.)(Coleoptera: Bruchidae). **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, p. 1-13, 2022.
- Ferraz, M. S. S. Potencial inseticida do óleo essencial de *Piper hispidinervum* sobre *Callosobruchus maculatus* e sua persistência em feijão-caupi, **Dissertação** 2018.
- FRANÇA, S. M., DE OLIVEIRA, J. V., RAFAEL, D., BARBOSA, S., DUTRA, A., DE ARAÚJO, A. M. N. Controle de *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera, Chrysomelidae,

Bruchinae) com pós vegetais e inertes. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 20, p. 288-295, 2018.

GONZÁLEZ ARMIJOS, M. J., VITERI JUMBO, L., D'ANTONINO FARONI, L. R., OLIVEIRA, E. E., FLORES, A. F., HADDI, K. Fumigant toxicity of eugenol and its negative effects on biological development of *Callosobruchus maculatus* L. **Revista de Ciencias Agrícolas**, v. 36, n. 1, p. 5-15, 2019.

GUERRA, A. M. N., SANTOS S, D., SANTOS, P. S., SANTOS, L. B. Teste de repelência de óleos essenciais sobre *Callosobruchus maculatus*. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 3, 2019.

GUETTAL, S., TINE, S., HAMAIDIA, K., TINE-DJEBBAR, F., SOLTANI, N. Effect of *Citrus limonum* essential oil against granary weevil, *Sitophilus granarius* and its chemical composition, biological activities and energy reserves. **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 41, n. 2, p. 1531-1541, 2021.

IKAWATI, S., HIMAWAN, T., ABADI, A. L., TARNO, H. Characterization of Clove Oil Nanoparticles and Their Insecticidal Activity against *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens)(Coleoptera: Laemophloeidae). **Agrivita**, v. 43, n. 1, p. 43, 2021.

ISMAN, M. B. Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. **Phytochemistry reviews**, v. 19, n. 2, p. 235-241, 2020.

JAIROCE, C. F., TEIXEIRA, C. M., NUNES, C. F., NUNES, A. M., PEREIRA, C. M., GARCIA, F. R. Insecticide activity of clove essential oil on bean weevil and maize weevil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 72-77, 2016.

KAYA, K., SERTKAYA, E., ÜREMIŞ, İ., SOYLU, S. Determination of Chemical Composition and Fumigant Insecticidal Activities of Essential Oils of Some Medicinal Plants Against the Adults of Cowpea Weevil, *Callosobruchus maculatus*. **KSU J. Agric Nat** 21(5):708-714, 2018

KHELOUL, L., ANTON, S., GADENNE, C., KELLOUCHE, A. Fumigant toxicity of *Lavandula spica* essential oil and linalool on different life stages of *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 23, n. 2, p. 320-326, 2020.

KRZYŻOWSKI, M., BARAN, B., ŁOZOWSKI, B. FRANCIKOWSKI, J. The effect of *Rosmarinus officinalis* essential oil fumigation on biochemical, behavioral, and physiological parameters of *Callosobruchus maculatus*. **Insects**, v. 11, n. 6, p. 344, 2020.

LAZAREVIĆ, J., JEVREMOVIĆ, S., KOSTIĆ, I., VULETA, A., MANITAŠEVIĆ JOVANOVIĆ, S., KOSTIĆ, M., ŠEŠLIJA JOVANOVIĆ, D. Assessment of Sex-Specific

Toxicity and Physiological Responses to Thymol in a Common Bean Pest *Acanthoscelides obtectus* Say. **Frontiers in Physiology**, 2022.

MATOS, LF, DA CRUZ LIMA, E., DE ANDRADE DUTRA, K., NAVARRO, DMDAF, ALVES, JLR., SILVA, GN. Chemical composition and insecticidal effect of essential oils from *Illicium verum* and *Eugenia caryophyllus* on *Callosobruchus maculatus* in cowpea. **Industrial Crops and Products**, v. 145, p. 112088, 2020.

MONICO, N. A., LORINI, I., QUIRINO, J., ROSA, E., SOUZA, T., QUEIROZ, C. Caracterização da resistência em populações das pragas de grãos armazenados *Tribolium castaneum*, *Oryzaephilus surinamensis* e *Lasioderma serricorne* ao inseticida deltametrina. In: **Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 13., 2018, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2018., 2018.

MOURA, E. D. S., FARONI, L. R. D. A., ZANUNCIO, J. C., HELENO, F. F., PRATES, L. H. F. Insecticidal activity of *Vanillosmopsis arborea* essential oil and of its major constituent α -bisabolol against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2019.

MOURA, E.S., FARONI, L. R. D. A., ZANUNCIO, J. C., HELENO, F. F., PRATES, L. H. F. Insecticidal activity of *Vanillosmopsis arborea* essential oil and of its major constituent α -bisabolol against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2019.

NATTUDURAI, G., BASKAR, K., PAULRAJ, M. G., ISLAM, V. I. H., IGNACIMUTHU, S., DURAIPANDIYAN, V. Toxic effect of *Atalantia monophylla* essential oil on *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus oryzae*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 2, p. 1619-1629, 2017.

NDOMO-MOUALEU, A. F., ULRICH, C., ADLER, C. Behavioral responses of *Callosobruchus maculatus* to volatile organic compounds found in the headspace of dried green pea seeds. **Journal of Pest Science**, v. 89, n. 1, p. 107-116, 2016.

OKWOR, J. I., ONAH, I. E., OBOHO, D. E., HARUNA, S. A., OKAFOR, F. C., EYO, J. E. Biopesticidal potential of *Moringa oleifera* on the oviposition and foraging rate of storage insect pests, *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus oryzae*. **Research on Crops**, v. 22, n. 3, 2021.

OLIVEIRA, J. V., DA SILVA, P. H. S., SANTANA, M. F., BREDA, M. O., DE FRANÇA, S. M., DE MIRANDA, V. L. Lethal and sublethal effects of chemical constituents from essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.)(Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in

cowpea stored grains. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 128, n. 6, p. 1575-1586, 2021.

PAVENTI, G., ROTUNDO, G., PISTILLO, M., D'ISITA, I., GERMINARA, G. S. Bioactivity of wild hop extracts against the granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.). **Insects**, v. 12, n. 6, p. 564, 2021.

RUEDA, A. P., MARTÍNEZ, L. C., DA SILVA ROLIM, G., COELHO, R. P., SANTOS, M. H., DE SOUZA TAVARES, W., SERRÃO, J. E. Insecticidal and repellent activities of *Cymbopogon citratus* (Poaceae) essential oil and its terpenoids (citral and geranyl acetate) against *Ulmoides dermestoides*. **Crop protection**, v. 137, p. 105299, 2020. JUMBO, L. O., HADDI, K., FARONI, L. R. D., HELENO, F. F., PINTO, F. G., OLIVEIRA, E. E. Toxicity to, oviposition and population growth impairments of *Callosobruchus maculatus* exposed to clove and cinnamon essential oils. **PloS one**, v. 13, n. 11, p. e0207618, 2018.

RUEDA, A.P., CAMPOS, JM, DA SILVA ROLIM, G., MARTÍNEZ, LC, DOS SANTOS, MH, FERNANDES, FL, ZANUNCIO, JC. Constituintes terpenóides dos óleos essenciais de canela e cravo causam efeitos tóxicos e comportamento de resposta de repelência no gorgulho do celeiro, *Sitophilus granarius*. **Ecotoxicologia e segurança ambiental** , v. 156, p. 263-270, 2018.

SAAD, M. M., ABOU-TALEB, H. K., ABDELGALEIL, S. A. Insecticidal activities of monoterpenes and phenylpropenes against *Sitophilus oryzae* and their inhibitory effects on acetylcholinesterase and adenosine triphosphatases. **Applied entomology and zoology**, v. 53, n. 2, p. 173-181, 2018.

SALEM, A. IDENTIFICATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF *Eugenia aromatica* AND ITS BIO-EFFICACY AGAINST *Sitophilus oryzae* (L.) AND *Tribolium castaneum* (HERBST). **The Future of Biology**, n. 4, 2019

SANTOS, V. S. V., DA CUNHA, J. R., DA SILVA, P. H. S. Atividade ovicida e repelente de pó de citronela sobre o caruncho do feijão-caupi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** V.13, Nº 2, p. 146-149, 2018.

SANTOS, V. S., DA SILVA, P. H. S., PÁDUA, L. E. Bioatividade do óleo essencial de *Lippia sidoides* Cham.(alecrim-pimenta) sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabr.)(Coleoptera: Crysomelidae). **Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2018.

SANTOS, V.S., SILVA, P.H. AND PÁDUA, L.E. Bioatividade do óleo essencial de *Lippia sidoides* Cham. (alecrim-pimenta) sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabr.) (Coleoptera: Crysomelidae). **Entomo Brasilis**. v.11, (2), p.113-117, 2018.

SATONGROD, B., WANNA, R., KHAENGKHAN, P., CHUMPAWADEE, T. Fumigant toxicity and bioactivity of *Wedelia trilobata* essential oil against cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus*). **International Journal of Agricultural Technology**, v. 17, n. 4, p. 1591-1604, 2021.

SILVA, A. B., DE OLIVEIRA, C. R. F., MATOS, C. H. C., DOS SANTOS, P. É. M., DE MAGALHÃES LIRA, C. R. I. Bioatividade do óleo essencial de *Croton blanchetianus* Baill (Euphorbiaceae) sobre *Callosobruchus maculatus* Fabricius, 1775 (Coleoptera: Chrysomelidae). **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 450-455, 2020.

SILVA, A. B., DE OLIVEIRA, C. R. F., MATOS, C. H. C., DOS SANTOS, P. É. M., DE MAGALHÃES LIRA, C. R. I. Bioatividade do óleo essencial de *Croton blanchetianus* Baill (Euphorbiaceae) sobre *Callosobruchus maculatus* Fabricius, 1775 (Coleoptera: Chrysomelidae). **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 450-455, 2020.

SPINOZZI, E., MAGGI, F., BONACUCINA, G., PAVELA, R., BOUKOUVALA, M. C., KAVALLIERATOS, N. G., BENELLI, G. Apiaceae essential oils and their constituents as insecticides against mosquitoes—A review. **Industrial crops and products**, v. 171, p. 113892, 2021.

ZIMMERMANN, RC, DE CARVALHO ARAGÃO, CE, DE ARAÚJO, PJP, BENATTO, A., CHAABAN, A., MARTINS, CEN, ZAWADNEAK, MA. Insecticide activity and toxicity of essential oils against two stored-product insects. **Crop Protection**, v. 144, p. 105575, 2021.