

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL)

JULIELSON OLIVEIRA ATAIDE

ATIVIDADE INSETICIDA DE COMPONENTES DE ÓLEOS ESSENCIAIS
SOBRE *Sitophilus zeamais* Mots. 1855 (Coleoptera: Curculionidae) e
***Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae)**

ALEGRE
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
2021

JULIELSON OLIVEIRA ATAIDE

**ATIVIDADE INSETICIDA DE COMPONENTES DE ÓLEOS ESSENCIAIS
SOBRE *Sitophilus zeamais* Mots. 1855 (Coleoptera: Curculionidae) e
Lasioderma serricorne (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

Orientador: Prof. Dr. Hugo Bolsoni Zago

**ALEGRE
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
2021**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

- O48a Oliveira Ataide, Julielson, 1987-
Atividade inseticida de componentes de óleos essenciais sobre
Sitophilus zeamais Mots. 1855 (Coleoptera: Curculionidae) e
Lasioderma serricorne (Fabricius, 1792) (Coleoptera:
Anobiidae) : Atividade inseticida de componentes de óleos
essenciais sobre Sitophilus zeamais Mots. 1855 (Coleoptera:
Curculionidae) e Lasioderma serricorne (Fabricius, 1792)
(Coleoptera: Anobiidae) / Julielson Oliveira Ataide. - 2021.
65 f.

Orientador: Hugo Bolsoni Zago.

Coorientadores: Luciano Menini, Hugo José Gonçalves dos
Santos Junior.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1. Pragas de grãos armazenados. 2. Besouro do cigarro. 3.
Toxicidade. 4. Gorgulho. I. Bolsoni Zago, Hugo. II. Menini,
Luciano. III. José Gonçalves dos Santos Junior, Hugo. IV.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 63

JULIELSON OLIVEIRA ATAIDE

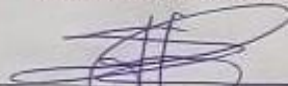
ATIVIDADE INSETICIDA DE COMPONENTES DE ÓLEOS ESSENCIAIS
SOBRE *Sitophilus zeamais* Mots, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) e
***Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do (Produção Vegetal) Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

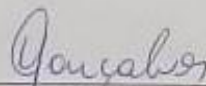
Orientador: Prof.º Dr. Hugo Bolsoni Zago

Aprovada em 26/02/2021

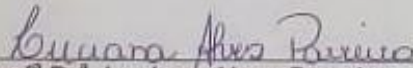
Comissão examinadora:



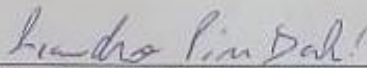
Orientador: Prof. Dr. Hugo Bolsoni Zago
Universidade Federal do Espírito Santo



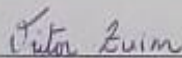
Prof. Dr. Hugo José Gonçalves dos Santos Júnior
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Luciana Alves Parreira
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Leandro Pin Dalvi
Universidade Federal do Espírito Santo



Dr. Vitor Zuim

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, que me capacita a cada dia.
Aos meus pais, Sebastião e Maria, pelo amor e pelo ensinamento ao longo da vida.
A minha esposa Cleidiane da Cunha Oliveira, pela compreensão nas horas difíceis.
Aos meus filhos Lara, Pedro e Davi.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por este sonho realizado, por me capacitar e por me abençoar com uma família maravilhosa e amigos tão queridos.

A minha esposa Cleidiane, que sempre esteve ao meu lado apoiando e incentivando durante essa jornada. Pelas horas de desabafos e companheirismo em todos os momentos. Aos meus Filhos Lara, Pedro e Davi.

Aos meus pais, Sebastião Manoel de Ataíde e Maria da Silva Oliveira Athaide, e aos meus irmãos, Silvane, Regino Marcos, meu cunhado Gilberto, pelo apoio e carinho em todos os momentos da minha vida, e pela compreensão, conselhos e incentivo nos momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. Hugo Bolsoni Zago, pela paciência para me orientar e pela oportunidade de cursar o doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) no NUDEMAFI.

Ao meu coorientador, Prof.Dr. Luciano Menini, pela grande colaboração, amizade e conselhos ao longo desta etapa.

Ao meu coorientador Prof. Dr. José Gonçalves dos Santos Junior, pela disponibilidade quando precisei.

Aos meus amigos e funcionários do Laboratório de entomologia do NUDEMAFI que estiveram presentes em todos os momentos.

Ao meu amigo Leonardo Mardgan, pelo apoio e amizade e companheirismo.

Ao meu amigo Carlos Magno, pelo apoio e amizade.

Aos meus amigos Luís Moreira, Aixelle, Beatriz, Luiza, Isac, Paula, Lorena, Laura, Rafael Assis.

Aos estagiários que me ajudaram nos experimentos e na criação, Filipe, Franciele e Andressa.

Ao amigo José Romário, pelo enorme apoio na estatística e pelas horas investidas em meu auxílio.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	13
1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Descrições, biologia e danos de <i>Sitophilus zeamais</i> Mots. 1855 (Coleoptera: Curculionidae).....	14
2.2. Descrições, biologia e danos de <i>Lasioderma serricorne</i> (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae)	16
2.3. Métodos de Controle	18
2.3.1. Controle químico	18
2.3.2. Inseticidas de origem vegetal	19
2.3.2.1. Efeitos de óleos essenciais sobre pragas de grãos armazenados.....	21
2.3.2.2. Efeitos de Componentes de óleos essenciais sobre pragas de grãos armazenados.....	22
3. REFERÊNCIAS.....	23
CAPÍTULO II	28
RESUMO.....	28
ABSTRACT	29
1. INTRODUÇÃO	30
2. MATERIAL E MÉTODOS	31
2.1. Material Biológico	31
2.2. Obtenção dos componentes majoritários	31
2.3. Preparo das misturas dos componentes majoritários.....	31
2.4. Toxicidade aguda por fumigação sobre os adultos de <i>S.zeamais</i>	32
2.4.1. Estimativa da concentração letal sobre os adultos de <i>S.zeamais</i>	33
2.5. Efeito sobre emergência dos adultos <i>S. zeamais</i>	33
2.5.1 Análise de sobrevivência dos adultos de <i>S.zeamais</i>	33
2.6. Resposta sobre caminhamento dos adultos de <i>S.zeamais</i>	34

2.7. Análise dos dados	35
3. RESULTADOS	36
3.1. Toxicidade aguda por fumigação sobre adultos de <i>S.zeamais</i>	36
3.2. Efeito sobre emergência dos adultos <i>S. zeamais</i>	37
3.2.1. Análise de sobrevivência dos adultos de <i>S.zeamais</i>	38
3.3. Respostas sobre o caminhamento dos adultos de <i>S.zeamais</i>	39
4. DISCUSSÃO	40
5. CONCLUSÃO.....	42
6. REFERÊNCIAS.....	43
CAPÍTULO III	47
RESUMO.....	47
ABSTRACT	49
1. INTRODUÇÃO	50
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
2.1. Material Biológico	51
2.2. Obtenção dos componentes majoritários	51
2.3. Preparo das misturas dos componentes majoritários.....	51
2.4. Toxicidade aguda por fumigação sobre os adultos de <i>L. serricorne</i>	52
2.5. Efeito sobre emergência de adultos de <i>L. serricorne</i>	53
2.5.1. Análise de sobrevivência dos adultos de <i>L. serricorne</i>	53
2.6. Resposta sobre o caminhamento dos adultos de <i>L. serricorne</i>	53
2.7. Análise dos dados	54
3. RESULTADOS	55
3.1. Toxicidade aguda por fumigação sobre adultos de <i>L. serricorne</i>	55
3.2. Efeito sobre emergência de adultos de <i>L. serricorne</i>	55
3.2.1. Análise de sobrevivência dos adultos de <i>L. serricorne</i>	56
3.3. Resposta sobre o caminhamento dos adultos de <i>L. serricorne</i>	57
4. DISCUSSÃO	59
5. CONCLUSÃO.....	61
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
7. REFERÊNCIAS.....	62

RESUMO

ATAIDE, Julielson Oliveira, D.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo. Março de 2021. **Atividade inseticida de componentes de óleos essenciais sobre *Sitophilus zeamais* Mots. 1855 (Coleoptera: Curculionidae) e *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae)** Orientador: Prof. Dr. Hugo Bolsoni Zago.

No armazenamento de grãos existem problemas ocasionados por insetos-praga, que podem causar perdas quantitativas e qualitativas durante a estocagem de sementes e grãos. Dentre as pragas, destacam-se as espécies *Sitophilus zeamais* Mots. 1855 (Coleoptera: Curculionidae) e *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae). O controle dessas pragas de grãos armazenados é realizado por inseticida químico. Entretanto, existem poucos produtos registrados para controle dessas pragas de grãos armazenados. Desse modo, a busca por alternativas de controle, como uso de compostos extraídos de plantas com propriedades inseticidas, representa uma alternativa promissora. Os óleos essenciais e seus componentes majoritários têm desempenhado papel significativo no desenvolvimento de inseticidas. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a toxicidade aguda, o efeito sobre sobrevivência e emergência e a resposta do caminhamento de alguns componentes majoritários de óleos essenciais (timol, cânfora, terpineol, canfeno, eucaliptol, limoneno, β -pineno e eugenol) e suas misturas sobre *S. zeamais* e *L. serricorne*. Os adultos de *S. zeamais* e *L. serricorne* foram submetidos a teste por fumigação, efeito sobre a emergência de adultos e sobrevivência e resposta do caminhamento. Os resultados mostraram que os componentes majoritários e as misturas causaram toxicidade aguda, reduziram o tempo de sobrevivência e a produção de adultos e alteraram a atividade comportamental de *S. zeamais* e *L. serricorne*. A mistura cânfora+canfeno apresentou efeito sinérgico, com CL₅₀ e CL₉₀ de 2,77 e 20,34 μ l/mL, respectivamente, sobre *S. zeamais*. Os componentes majoritários eucaliptol e terpineol apresentaram 65% de mortalidade, na qual as misturas terpineol+eucaliptol e cânfora+timol apresentaram, respectivamente, 47% e

52% sobre os adultos de *L. serricorne*. Os resultados evidenciaram que os componentes majoritários e as misturas são promissores para elaboração de novos inseticidas.

Palavras-Chave: Pragas de grãos armazenados, Besouro do cigarro, Toxicidade, Gorgulho.

ABSTRACT

ATAIDE, Julielson Oliveira, D.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo. Março de 2021. **Insecticidal activity of essential oil components on *Sitophilus zeamais* Mots. 1855 (Coleoptera: Curculionidae) and *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae)** Orientador: Prof. Dr. Hugo Bolsoni Zago.

In grain storage, there are problems caused by insect pests, which can cause quantitative and qualitative losses during the storage of seeds and grains. Among the pests, the species, *Sitophilus zeamais* Mots. 1855 (Coleoptera: Curculionidae) and *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae). The control of these stored grain pests is carried out by chemical insecticide. However, there are few products registered to control these stored grain pests. Thus, the search for control alternatives, such as the use of compounds extracted from plants with insecticidal properties, represents a promising alternative. Essential oils and their major components have played a significant role in the development of insecticides. Thus, the objective of this work was to evaluate acute toxicity, effect on survival and emergency and the response of the path of some major components of essential oils, thymol, camphor, terpineol, camphene, eucalyptol, limonene, β -pinene and eugenol and their mixtures about *S. zeamais* and *L. serricorne*. The adults of *S. zeamais* and *L. serricorne* were subjected to fumigation testing, effect on adult emergence and survival and walking response. The results show that the major components and mixtures caused acute toxicity, reduced the survival time and production of adults and altered the behavioral activity of *S. zeamais* and *L. serricorne*. The camphor + camphene mixture showed a synergistic effect, with CL_{50} and CL_{90} of 2.77 and 20.34 $\mu\text{L}/\text{mL}$ respectively on *S. zeamais*. The major components eucalyptol and terpineol showed 65% mortality, in which the mixtures terpineol + eucalyptol and camphor + thymol presented 47% and 52% over adults of *L. serricorne*. The results showed that the major components and mixtures are promising for the development of new insecticides.

Keywords: Stored grain pests, Cigarette beetle, Toxicity, Weevil.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A demanda mundial por alimentos é constante e exige que as sementes e/ou grãos colhidos nas lavouras sejam mantidos com o mínimo de perdas quantitativas e qualitativas até o consumo final. No entanto, existem insetos-praga, entre eles, as espécies *Sitophilus zeamais* Mots. 1855 (Coleoptera: Curculionidae) e *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae), que podem causar uma perda de aproximadamente 10% do total produzido, provocando grandes prejuízos na oferta desses produtos (LORINI, 2015). Em geral, o controle das pragas de grãos armazenados é realizado por inseticidas químicos sintéticos, de forma preventiva, utilizando deltametrina, bifentrina e lambda-cialotrina e forma curativa com a fosfina (LORINI, 2015). Contudo, existem poucas moléculas para o controle de pragas de grãos armazenados; a busca por novas moléculas com características ambientais mais adequadas seria o mais interessante para diminuir a seleção de insetos resistentes, poluição ambiental e os efeitos negativos sobre os organismos não alvos e a saúde humana (BENHALIMA et al. 2004; PIMENTAL, 2009; LORINI, 2015).

Desta forma, uma alternativa para redução desses problemas ocasionados pelos inseticidas químicos sintéticos é a utilização dos óleos essenciais, que são subprodutos do metabolismo secundário das plantas, extraídos de diferentes partes das plantas e podem apresentar respostas fumigante, repelente, deterrente e contato (ARIDOGAN et al., 2002). Além disso, apresenta toxicidade baixa a moderada para mamíferos, baixa fitotoxicidade, maior seletividade e ação de degradação rápida (ISMAN, 2000; MENEZES, 2005).

Os óleos essenciais apresentam efeito inseticida sobre *S. zeamais* e *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) e entre outras pragas de grãos armazenados, tais como *Citrus reticulata*, *Citrus aurantiifolia*,

Cupressus lusitânica, *Eucalyptus saligna* e os componentes majoritários (R)-Limoneno e (S)-Limoneno (FOUAD; CAMARA, 2017; BETT et al. 2016). No entanto, combinações entre óleos essenciais têm sido utilizadas para potencializar o efeito dos mesmos. Benelli et al. (2017) observaram que a mistura binária do óleo essencial de *Satureia montana* L. e *Aloysia citriodor* apresentou maior toxicidade sobre as larvas *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera, Culicidae) que os óleos isolados.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade inseticida dos componentes de alguns óleos essenciais, timol, cânfora, terpineol, canfeno, eucaliptol, limoneno, β -pineno e eugenol, e de suas misturas sobre *S. zeamais* e *L. serricorne*.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Descrições, biologia e danos de *Sitophilus zeamais* Mots. 1855 (Coleoptera: Curculionidae)

O gorgulho do milho, *S. zeamais*, é um coleóptero da família Curculionidae. Os adultos desses insetos possuem de 2,0 a 3,5 mm de comprimento com coloração castanho-escuro e manchas mais claras nos élitros visíveis logo após a emergência; têm a cabeça projetada à frente na forma de rosto curvado. Nos machos, o rosto é mais curto e grosso, e nas fêmeas, mais longo e afilado. As larvas são de coloração amarelo-clara, com a cabeça de cor marrom-escura, e as pupas são brancas (Figura 1) (MOUND, 1989; BOOTH et al., 1990). O período de oviposição é de 104 dias, e o número médio de ovos por fêmea é de 282. A longevidade das fêmeas é de 140 dias. O período de incubação oscila entre 3 e 6 dias, e o ciclo de ovo até a emergência de adultos é de 34 dias (LORINI et al., 2008).

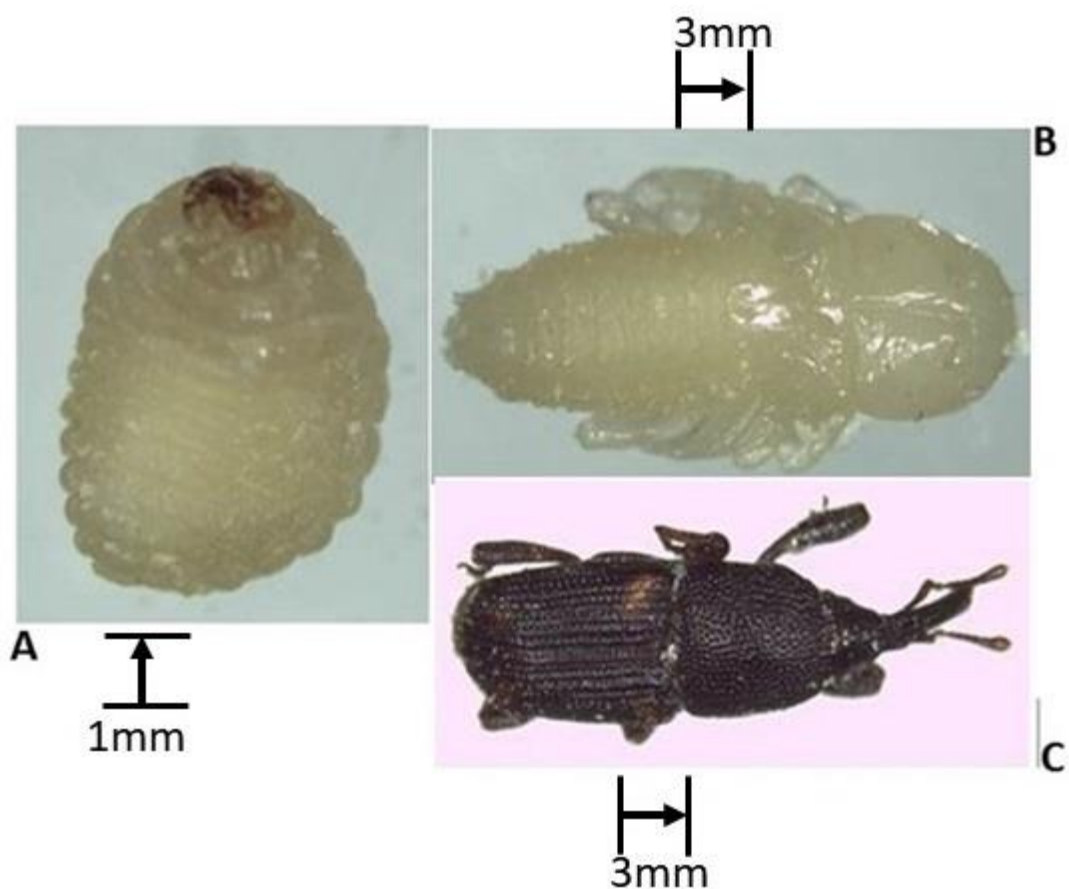


Figura1: A:Larva; B:Pupa; C: Adulto de *Sitophilus zeamais*

Fonte: Próprio autor

O gorgulho do milho é uma praga primária interna, pode apresentar infestação cruzada, ou seja, infestar grãos no campo e também no armazém, onde penetra na massa de grãos. A postura é feita dentro dos grãos e sementes; as larvas, após se desenvolverem, empupam e transformam-se em adultos ainda no grão ou semente. Os danos causam redução de peso e de qualidade do grão ou semente (LORINI et al., 2008).

Com grandes populações de *S. zeamais* alimentando-se da massa de grãos ocorre um aumento na respiração desses grãos, elevando assim a temperatura e conseqüentemente a umidade do ambiente, propiciando a proliferação de fungos (LORINI et al., 2008).

2.2. Descrições, biologia e danos de *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae)

O besouro do fumo, *L.serricorne*, é um coleóptero da família Anobiidae, os adultos são pequenos besouros de corpo ovalado com aproximadamente 2,0-3,5 mm e coloração que vai do castanho avermelhado claro ao escuro, possuem antenas distintamente serreadas e élitros cobertos com pubescência (Figura,2) (ASHWORTH, 1993; BOUSQUET, 1990). Não apresenta dimorfismo sexual, no entanto a fêmea é maior que o macho. A cabeça é encoberta pelo pronoto, dificilmente visível em vista dorsal e geralmente fica abaixada, dando ao inseto um aspecto convexo (PEREIRA; ALMEIDA, 2001). As larvas possuem coloração branco leitosa e são recobertas de pelos finos. Apresentam quatro discretos estágios larvais: os primeiros três ínstaras duram em média 4-5 dias, enquanto o quarto ínstar dura aproximadamente 12 dias. A larva de primeiro ínstar mede menos que 1,0 mm e chega a atingir até 4,5mm no último ínstar, antes da pupação (YU et al., 2011; ASHWORTH, 1993).

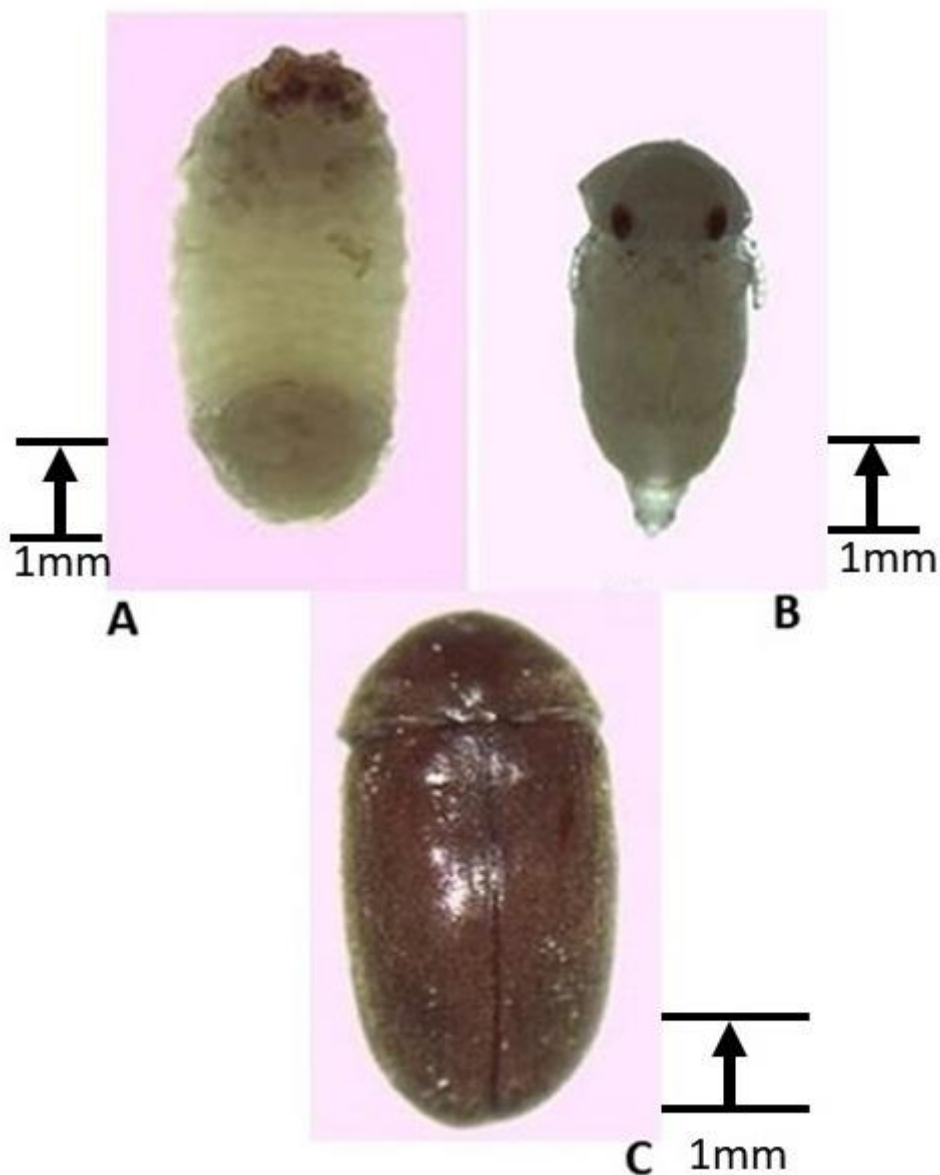


Figura 2: A:Larva; B:Pupa; C: Adulto de *Lasioderma serricorne*.

Fonte: Próprio autor

O besouro do fumo é uma praga que não ataca plantas vivas, no entanto pode atacar produtos armazenados, como farelo, farinha, grãos, arranjos de flores, amendoins, coloral, paprica, plantas desidratadas, ração para animais, pão e frutas secas, causando deterioração, redução de peso e alterações na estrutura desses alimentos. Contudo, esse inseto também causa danos

indiretos, devidos suas perfurações ocasionadas, facilitando a entrada de microorganismo e ácaros (LORINI et al., 2015).

L. serricorne pode ser considerada a maior ameaça ao armazenamento de grãos de soja no Brasil, uma vez que as larvas se alimentam dos grãos, escavando galerias e conseqüentemente gerando prejuízos aos produtores pela perda da qualidade e valor das sementes (LORINI, 2012). Moreira (2008) avaliou os danos causados por *L. serricorne* em grãos de soja armazenados e verificou, após 150 dias de infestação, que o aumento da população de insetos levou a uma elevação do nível de infestação interna dos grãos, perda de peso e redução da germinação, bem como redução da qualidade comercial dos mesmos. Outro fator relevante observado foi o aumento da contaminação das sementes por fungos, especialmente dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*.

2.3. Métodos de Controle

2.3.1. Controle químico

O controle químico é o método mais usado no controle de pragas de grãos e sementes armazenadas na atualidade. Porém vem apresentando restrições de uso à medida que surgem problemas de resistência das pragas aos inseticidas. O controle químico pode ser aplicado de forma preventiva ou curativa (LORINI, et al., 2015).

A forma preventiva consiste em aplicar inseticidas líquidos sobre os grãos, na correia transportadora, no momento de carregar o armazém ou no momento de ensaque das sementes ou grãos. Esses inseticidas protegerão contra o ataque de pragas que tentarão se instalar na massa de grãos ou lote de sementes. Deve-se fazer a pulverização em grãos ou sementes descansadas, não efetuar o tratamento com a massa de grãos quente, logo após esta ter saído do secador. Os grãos quentes apresentam uma série de inconvenientes para o tratamento, que pode resultar em ineficiência de controle. Assim, é aconselhável deixar os grãos esfriarem por algum tempo antes de fazer a

pulverização com inseticidas e proceder à armazenagem. Os inseticidas mais usados são deltamethrin, bifenthrin e lambda-cyhalothrin, pirimiphos-methyl e fenitrothion (LORINI, et al., 2015).

A forma curativa é a aplicação da técnica expurgo ou fumigação empregada para eliminar pragas infestantes em sementes e grãos armazenados mediante uso de gás. Esse método consiste na saturação da atmosfera do local a ser desinfestado com fosfina, que é altamente tóxica e mortal para os insetos em todas as fases de desenvolvimento (ovo, larva, pupa e adultos). Produtos agrícolas, alimentos processados, tabaco e produtos destinados à alimentação animal, como rações e seus ingredientes, podem ser submetidos à fumigação com fosfina (LORINI et al. 2015).

A fosfina pode levar à seleção de insetos resistentes de várias espécies de pragas de produtos armazenados se não for realizada adequadamente. A fumigação realizada em baixas temperaturas pode não ser eficaz, pois nessas condições ocorre uma queda da taxa respiratória dos insetos, reduzindo a assimilação da fosfina durante a fumigação, de forma que os indivíduos mais resistentes podem sobreviver ao processo de expurgo (CHAUDHRY et al. 2004).

2.3.2. Inseticidas de origem vegetal

As espécies de plantas aromáticas utilizadas para extração dos óleos essenciais, antes de serem estudadas cientificamente, foram utilizadas pelos índios como ervas medicinais, por possuírem efeito contra bactérias, fungos, entre outros. No entanto, com a evolução dos estudos científicos essas plantas aromáticas passaram a ter diversas aplicações industriais: na fabricação de perfumes, na indústria de processamento de alimentos, na medicina com a fabricação de medicamentos tanto para homens como para animais e na fabricação de novos inseticidas (CASTRO, 2004).

Os primeiros inseticidas botânicos foram a Nicotina, extraída do fumo (*Nicotiana tabacum* L.); a Piretrina, extraída do piretro (*Chrysanthemum cinerariaefolium* Vis.); a Retenona, extraída de *Derris* spp. E *Lonchocarpus*

spp.; a Sabadina, extraídos de Sabadila (*Schoenocaulon officinale* A. Grang); e a Rianodina, extraída de *Ryania Speciosa* Vahl (LAGUNES; RODRIGUES, 1989).

Os produtos com ação inseticida, extraídos de plantas, já foram a principal forma de manejo contra pragas agrícolas, mas, aproximadamente em 1940, os inseticidas sintéticos assumiram um papel de destaque (ISMAN et al., 2008). Entretanto, problemas derivados do uso indiscriminado desses inseticidas sintéticos fizeram com que programas integrados de controle de pragas, utilizando produtos de origem natural, voltassem a ter papel de destaque (TUNAZ, 2004).

As plantas são reconhecidamente capazes de produzir as próprias substâncias defensivas, incluindo inseticidas para a proteção contra o ataque de pragas, são os chamados metabólitos secundários (GOBBO-NETO; LOPES, 2007). Dentre os metabólitos secundários, destacam-se os óleos essenciais, que são misturas complexas de diferentes classes de substâncias, principalmente terpenóides e fenilpropanóides, com estruturas químicas diversificadas, produzidas por metabolismo especial (OOTANI et al., 2013). Estes podem ser compostos voláteis e odoríferos, sensíveis à luz, calor e oxigênio (SOUZA et al., 2016), bem como, os óleos fixos, que não evaporam ou volatilizam completamente, sendo que, quando mantidos em contato com o ar, eles podem permanecer fluidos (COSTA et al., 2015).

A utilização desses inseticidas botânicos possui vantagens quando comparadas ao emprego de inseticidas sintéticos, visto que são obtidos de recursos renováveis, rapidamente degradáveis e apresentam várias substâncias que atuam simultaneamente, fazendo com que o desenvolvimento de resistência dos insetos a essas substâncias ocorra de forma lenta (FERREIRA et al., 2001).

2.3.2.1. Efeitos de óleos essenciais sobre pragas de grãos armazenados

Vários óleos essenciais têm se mostrado eficaz no controle em pragas de grãos armazenados. Por exemplo, *S. zeamais* foi suscetível aos óleos de *Lippia sidoide*, *Citrus aurantiifolia* e *Citrus reticulata* por fumigação (OLIVEIRA et al., 2018; FOUAD; CAMARA, 2017). Da mesma forma, o óleo essencial de *Apium graveolens* L. apresentou atividade inseticida contra *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) 1792 (Coleoptera: Bostrycidae) (EBADOLLAHI, 2018). *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae) e *Lasioderma serricorne* Fabricius 1792 (Coleoptera: Anobiidae) foram suscetíveis ao vapor aos óleos essenciais de *Ricinus communis* e *Mentha pulegium* (SALEM et al., 2017).

O óleo essencial de erva-das-costelas, *Achillea filipendulina* L., foi eficiente contra *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Silvanidae) por fumigação (EBADOLLAHI, 2016). Contudo, os óleos essenciais de *Cupressus lusitânica*, *Eucalyptus saligna* e *Cotinus coggyria* Scop. apresentaram efeito toxicológico por meio de contato e fumigação nos adultos de *A. obtectus*, *S. zeamais*, *Sitotroga cerealella* Oliver 1789 (Lepidoptera: Gelechiidae) e *T. castaneum* (BETT et al., 2016; ULUKANLI et al., 2014).

As espécies *Citrus sinensis*, *Mentha piperita* L., *Geranium maculatum* L., *Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats), *Eucalyptus globulus* Labill., *Citrus bergamia* Risso e *Carum copticum* L. apresentaram efeito inseticida sobre *Callosobruchus maculatus* (FABR., 1775) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae), *Sitophilus oryzae* Linnaeus 1763 (Coleoptera: Curculionidae), *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) e *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) (OBOH et al., 2017; JESSER et al., 2017; SHAHRIARI et al., 2017).

2.3.2.2. Efeitos de Componentes de óleos essenciais sobre pragas de grãos armazenados

Geralmente os óleos essenciais podem conter em sua caracterização dois ou três componentes majoritários entre 20 a 70% (SIMÕES et al., 2007; BEKKALI et al., 2008). Por exemplo, o timol é uma substância que se faz presente em vários óleos essenciais, no entanto em alguns óleos essenciais ele é considerado componente majoritário. Oliveira et al. (2018) e Shahriari et al. (2017) verificaram que o timol e *p*-cymene tiveram efeito inseticida via fumigação sobre *S. zeamais* e *E. kuehniella*.

Outra substância presente como composto majoritário em vários óleos essenciais é o eugenol. Esse monoterpene apresentou atividade inseticida por contato sobre *S. oryzae* e *C. maculatus* (ISLAM et al., 2009). Outros componentes majoritários como terpinen-4-ol, γ -terpineno, α -terpineol, α -terpineno, 1,8-cineole, l. pachifilo, oxido de cariofileno, limoneno, trans-p-Menta-1(7) e 8-dien-2-ol causam toxicidade por fumigação em *S. zeamais* e *T. castaneum* (LIAO et al., 2016; LIU et al., 2012).

O EM-Limoneno e (S)-Limoneno são componentes majoritários das espécies *Citrus aurantiifolia* e *Citrus reticulata*, ambos ocasionaram efeitos por contato, ingestão e fumigação sobre adultos de *S. zeamais* (FOUAD; CAMARA, 2017). O componente majoritário 1,8-cineole está presente no óleo essencial das folhas jovens e velhas do *Eucalyptus globulus*. No entanto, nas folhas velhas o 1,8-cineole representa 62,11% das substâncias presentes, já nas folhas novas 52,26%. Russo et al. (2015) verificaram que o 1,8-cineole tem ação inseticida de fumigação sobre *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). Dentre os compostos de óleo essenciais, o presente trabalho utilizou timol, cânfora, terpineol, canfeno, eucaliptol, limoneno, β -pineno e eugenol.

3. REFERÊNCIAS

ALVES, J. N. **Utilização da radiação gama do Cobalto-60 como tratamento quarentenário de plantas medicinais, aromáticas e condimentares desidratadas infestadas por *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera, Anobiidae) e *Plodia interpunctella* (Hubner, 1813) (Lepidoptera, Pyralidae).** 2007. 83 f. (Mestrado em Ciências – Área Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, SP, 2007.

ARIDOĞAN, B.C., BAYDAR, H., KAYA, S., DEMIRCI, M., OZBAŞAR, D., MUMCU, E. Antimicrobial activity and chemical composition of some essential oils. **Archives of Pharmacal Research**, v. 25, n. 6, p. 860-864, 2002.

ASHWORTH, J. R. The biology of *Lasioderma serricorne*. **Journal of Stored Products Research**, v. 29, n. 4, p. 291-303, 1993.

BAKKALI, F., AVERBECK, S., AVERBECK, D., IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008.

BENELLI, G., PAVELA, R., CANALE, A., CIANFAGLIONE, K., CIASCETTI, G. Acute larvicidal toxicity of five essential oils (*Pinus nigra*, *Hyssopus officinalis*, *Satureja montana*, *Aloysia citrodora* and *Pelargonium graveolens*) against the filariasis vector *Culex quinquefasciatus*: Synergistic and antagonistic effects. **Parasitol Int**, n,66, 166-171. 2017.

BENHALIMA, H., CHAUDHRY, M.Q., MILLS, K.A., PRICE, N.R. Phosphine resistance in stored-product insects collected from various grain storage facilities in Morocco. **J. Stored Prod Res**, v. 40, p. 241-249, 2004.

BETT, P. K., DENG, A. L., OGENDOB, J. O., KARIUKIA, S. T. KAMATENESI, MUGISHAC, M., MIHALED, J.M., TORTOE, B. Chemical composition of *Cupressus lusitanica* and *Eucalyptus saligna* leaf essential oils and bioactivity against major insect pests of stored food grains. **Industrial Crops and Products**, n. 82, 51–62, 2016.

BOOTH, R. G., COX, M. L., MADGE, R. B. **IIE guides to insects of importance to man 3. Coleoptera.** Wallingford: CAB International, p.384, 1990.

BOUSQUET, Y. **Beetles associated with stored products in Canada: An identification guide.** Canadian Government Publishing Centre: Ottawa, Canada, 1990.214p.

COSTA, C. L., França, E.T.R., SANTOS, D.S., COSTA, M.C.P., BARBOSA, M. C.L., NASCIMENTO, M.D.S.B. Caracterização físico-química de óleos fixos artesanais do coco babaçu (*Orbignya phalerata*) de regiões ecológicas do estado do Maranhão, Brasil. **Pesquisa em foco**, v. 20, n. 1, p. 27-38, 2015.

CASTRO, R.L de. Melhoramento Genético do Morangueiro: Avanços no Brasil. **Embrapa Clima Temperado**, p. 296, 2004.

CHAUDHRY, M. Q., BELL, H. A., SAVVIDOU, N., MACNICOLL, A. D. Effect of low temperatures on the rate of respiration and uptake of phosphine in different life stages of the cigarette beetle *Lasioderma serricornis*. **Journal of Stored Products Research**, v. 40, p. 125-134, 2004.

EBADOLLAHI, A. Chemical composition, acaricidal and insecticidal effects of essential oil from *Achillea filipendulina* against two arthropod pests; *Oryzaephilus surinamensis* and *Tetranychus urticae*. **Toxin Reviews**, p.1–6, 2016.

EBADOLLAHI, A. Fumigant Toxicity and Repellent Effect of Seed Essential Oil of Celery Against Lesser Grain Borer, *Rhyzopertha dominica* F. **Journal of Essential Oil-Bearing Plants**, v. 21, p.146-154, 2018.

FERREIRA, J.T.B., CORREA, A.G., VIEIRA, P.C. **Produtos Naturais no Controle de Insetos**, Edufscar, p.30, 2001.

FOUAD, H. A., CAMARA, C. A.G. Chemical composition and bioactivity of peel oils from *Citrus aurantiifolia* and *Citrus* and enantiomers of their major constituent against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, n.73, p. 30-36, 2017.

HU-TSAN., CHEN-CHIA-CHE., PENG-WU-KANG. The lethal effect of gamma radiation on *Lasioderma serricornis* (Fabricius). **Formosan Entomology**, v. 22, n. 2, p. 157-162, 2002.

IMAI, T., HARADA, H. Low-temperature as an alternative to fumigation to stored tobacco of the cigarette beetle, *Lasioderma serricornis* (F.) (Coleoptera: Anobiidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 41, n. 1, p. 87-91, 2006.

ISMAN, M.B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop Protection**, v.19, p.603-8, 2000.

ISMAN, M. B. Perspective botanical insecticides: for richer, for poorer. **Pest Management Science**, v. 64, p. 8- 11, 2008.

JESSERA, E. N., WERDIN-GONZÁLEZA, J. O., MURRAYC, A. P., FERRERO, A. A. Efficacy of essential oils to control the Indian meal moth, *Plodia*

interpunctella (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**. V.20, p.1122–1129, 2017.

LAGUNES, T.A., RODRÍGUEZ, H. C. **Búsqueda de apropiada para el combate de plagas del maíz almacenado en condiciones rústicas**. Chapingo: CONACYT – CP, p.150,1989.

LAZZARI, S. M. N., KARKLE, A. F., LAZZARI, F. A. Resfriamento artificial para o controle de Coleoptera em arroz armazenado em silo metálico. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 50, n. 2, p. 293-296, 2006.

LIAO, M., XIAO, J.J., ZHOU, L.J., LIU, Y., WU, X.W., HUA, R.M. Insecticidal Activity of Melaleuca Essential Oil and RNA-Seq Analysis of *Sitophilus zeamais* Transcriptome in Response to Oil Fumigation. **Plos One**, v. 11, 2016.

LIU, P., LIU, X., DONG, H., LIU, Z., DU, S., DENG, Z. Oil of *Illicium pachyphyllum* Fruits against Two Grain Storage Insects. **Molecules**, v.17, p.14870-14881, 2012.

LORINI, I., KRZYZANOWSKI, F.C., FRANÇA-NETO, J.B., HENNING, A.A., HENNING, F.A. **Manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p.72, 2008.

LORINI, I. Insetos que atacam grãos de soja armazenados. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MORCARDI, F. (orgs.). Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2012. p. 421-444.

LORINI, I., KRZYZANOWSKI, F. C., FRANÇA-NETO, J. B., HENNING, A. A., HENNING, F. A. **Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas**. Embrapa Soja, Brasília, DF. P. 84, 2015.

LORENZO, P. Application of ⁶⁰Co gamma radiation to control insects in stored rice. Part IV. *Lasioderma serricorne* (Anobiidae: Coleoptera), *Alphitobius diaperinus* and *Tenebrionido sp* (Tenebrionidae: Coleoptera). **Ciencia y técnica em la Agricultura Arroz.**, Cuba, v. 13, n. 1-2, p. 67-72, 1990.

MENEZES, E.L.A. Inseticidas botânicos: seus princípios ativos, modo de ação e uso agrícola. **Embrapa Agrobiologia**, v.205, p. 58, 2005.

MOUND, L. **Common insect pests of stored food products**. London:British Museum of Natural History, p. 68, 1989.

MOREIRA, L. L. **Desenvolvimento e danos de *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Anobiidae)**. 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado

em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2008.

OBOH, G., AYOKUNLE O., ADEMOSUN, T. A., OLUMUYIWA, T. A., OLASEHINDE, A. O., ADEYEMO, A. C. Insecticidal activity of essential oil from orange peels (*Citrus sinensis*) against *Tribolium confusum*, *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus oryzae* and its inhibitory effect on acetylcholinesterase and Na⁺/K⁺-ATPase activities. **Phytoparasitica**. V. 45 p. 501–508, 2017.

OLIVEIRA, A. P., SANTOS, A. A, SANTANA, A. S., LIMA, A. P. S., MELO, C. R., SANTANA, E. D.R., SAMPAIO, T. S., BLANKA, A. F., ARAÚJO, A. P. A., CRISTALDO, P. F., BACCIA, L. Essential oil of *Lippia sidoides* and its major compound thymol: Toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Crop Protection**, v.112, p.33–38, 2018.

OOTANI, M. A. et al. Use of Essential Oils in Agriculture. Journal of **Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 162, 2013.

PEREIRA, P. R. V. S., ALMEIDA, L.M. Chaves para identificação dos principais Coleoptera (Insecta) associados com produtos armazenados. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 18, n. 1, p. 271-283, 2001.

PIMENTEL, D. Environmental and Economic Costs of the Application of Pesticides Primarily in the United States. Integrated Pest Management: Innovation-Development Process, **Netherlands**, p. 89-111, 2009.

SALEM, N., BACHROUCH, O., SRITI, J., MSAADA, K., KHAMMASSI, S. HAMMAMI, M., SELMI, S., BOUSHIH, S., KOORANI, S., ABDERRABA, M., MARZOUK, B., LIMAM, F., JEMAA, J. M. B. Fumigant and repellent potentials of *Ricinus communis* and *Mentha pulegium* essential oils against *Tribolium castaneum* and *Lasioderma serricorne*. **International Journal of Food Properties**. V.20, p. 899-913, 2017.

SOUZA, R.F.C.; FERRAZ-FREITAS, P. N.; OLIVEIRA, W. P. Complexos de inclusão binários, ternários e quaternários contendo óleo essencial de *Lippia sidoides*. **Química Nova**, v. 39, n. 8, p. 979-986, 2016.

SHAHRIARI, M., SAHBZADEH, N., ZIBAE, A., KHANI, A., SENTHIL-NATHAN, S. Metabolic response of *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) to essential oil of Ajwain and thymol. **Toxin Reviews**, p. 1-6, 2017.

TUNAZ. H. Insect growth regulators for insect. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, v. 28, p. 377–387, 2004.

SIMÕES, C. M. O. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 6. Ed. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, p.1104, 2007.

ULUKANLI, Z., KARABÖRKLÜ, S., BOZOK, F., ÇENET, M., ÖZTÜRK, B., BALÇILAR, M. Antimicrobial, insecticidal and phytotoxic activities of *Cotinus coggyria* Scop. Essential oil (Anacardiaceae). **Natural Product Research: Formerly Natural Product Letters**, v.28, p. 2150-2157, 2014.

YU, C., SUBRAMANYAN, B., FLINN, P. W., GWIRTZ, J. Susceptibility of *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) life stages to elevated temperatures used during structural heat treatments. **Journal of Economic Entomology**, v. 104, n. 1, p. 317-324, 2011.

CAPÍTULO II

Exposição aos componentes majoritários de óleos essenciais e suas misturas causa toxicidade aguda, efeito subletal e perturbação no comportamento *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae)

ATAIDE, J. O., HOLTZ, F. G., DEOLINDO, F. D., HUVER, A., ZAGO, H. B., MENINI, L., SANTOS JÚNIOR, H.J.G., CARVALHO, J.R. Exposure to major components of essential oils and their mixtures cause mortality, sublethal effect and behavioral disturbance of *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: curculionidae). **J. Pharmacogn Phytochem** 2020;9(2):1329-1335. DOI: 10.22271/phyto.2020.v9.i2v.11038

RESUMO

Sitophilus zeamais (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) é uma praga primária interna de grãos armazenados de grande importância econômica. Existem poucos inseticidas registrados para controle via fumigação para *S. zeamais*, o que faz necessária a busca por mais alternativas de controle. O uso de componentes majoritários de óleos essenciais mostra-se promissor para controle dessa praga. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a toxicidade aguda, efeito sobre sobrevivência e emergência e a resposta do caminhamento de alguns componentes majoritários de óleos essenciais, timol, cânfora, terpineol, canfeno, eucaliptol, limoneno, β -pineno, eugenol e de suas misturas sobre *S. zeamais*. Os resultados mostraram que os componentes majoritários e suas misturas causaram toxicidade aguda, reduziram o tempo de sobrevivência e a emergência, além de alterarem a atividade comportamental de *S. zeamais*. A mistura cânfora+canfeno apresentou efeito sinérgico, com CL₅₀ e CL₉₀ de 2,77 e 20,34 μ l/mL respectivamente. Portanto, esses produtos são promissores a serem usados como uma alternativa aos inseticidas sintéticos, auxiliando na diminuição da seleção de insetos resistentes aos inseticidas comerciais.

Palavras-Chave: Monoterpeno, Sesquiterpeno, Praga de grãos armazenados.

Exposure to major components of essential oils and their mixtures causes acute toxicity, sublethal effect and disturbance in the behavior of *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae)

ATAIDE, J. O., HOLTZ, F. G., DEOLINDO, F. D., HUVER, A., ZAGO, H. B., MENINI, L., SANTOS JÚNIOR, H.J.G., CARVALHO, J.R. Exposure to major components of essential oils and their mixtures cause mortality, sublethal effect and behavioral disturbance of *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: curculionidae). **J Pharmacogn Phytochem** 2020;9(2):1329-1335. DOI: 10.22271/phyto.2020.v9.i2v.11038

ABSTRACT

Sitophilus zeamais (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae), is an internal primary pest of stored grains of great economic importance. There are few insecticides registered for fumigation control for *S. zeamais*, which makes it necessary to search for more control alternatives. The use of major components of essential oils is promising to control this pest. Thus, the objective of this work was to evaluate acute toxicity, effect on survival and emergency and the response of the path of some major components of essential oils, thymol, camphor, terpineol, camphene, eucalyptol, limonene, β -pinene, eugenol and their mixtures on *S.zeamais*. The results show that the major components and their mixtures caused acute toxicity, reduced survival time and emergence, in addition to altering the behavioral activity of *S. zeamais*. The camphor + camphene mixture showed a synergistic effect, with CL₅₀ and CL₉₀ of 2.77 and 20.34 μ l / mL respectively. Therefore, these products are promising to be used as an alternative to synthetic insecticides, helping decrease the development of insect resistance to commercial insecticides.

Keywords: Monoterpene, Sesquiterpene, stored grain pest.

1. INTRODUÇÃO

Sitophilus zeamais (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) é uma praga primária interna de grãos armazenados de grande importância econômica, pois pode apresentar infestação cruzada, ou seja, infestar grãos no campo e também no armazém, onde penetra na massa dos grãos. Apresenta elevado potencial de reprodução, possui muitos hospedeiros, como trigo, milho, arroz, cevada e tritcale (LORIN, 2015; WALE; ASSEGIE, 2015).

O método utilizado para o controle de *S. zeamais* é o químico, com inseticida sintético fumigante (fosfina) (PAES et al., 2012; ZHANG et al., 2016). No entanto, a aplicação inadequada e o uso intensivo desses inseticidas nos locais de armazenamento dos grãos ao longo dos anos levaram a vários problemas, incluindo o desenvolvimento de resistência dos insetos (KUMAR et al., 2011; LU et al., 2013). Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de novos inseticidas que apresentem baixo risco de seleção de resistência de insetos (MOREAU; ISMAN, 2012).

Os componentes majoritários, que são substâncias de maior área relativa que integram os óleos essenciais, têm sido considerados uma estratégia promissora para o controle de insetos pragas, envolvendo vários modos de respostas, fumigação, repelência, contato e deterrência (OLIVEIRA et al., 2018).; além de apresentar menor toxicidade em mamíferos, baixa persistência no meio ambiente e decréscimo no desenvolvimento de resistência dos insetos (ASLAN et al., 2004; ISMAN, 2006; SANTOS et al., 2011).

Neste estudo, avaliou-se a toxicidade aguda, efeito sobre sobrevivência e emergência e a resposta do caminhamento dos *S. zeamais* submetido a alguns componentes majoritários de óleos essenciais, timol, cânfora, terpineol, canfeno, eucaliptol, limoneno, β -pineno, eugenol e suas misturas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material Biológico

Os *S. zeamais* foram criados em potes de vidros de 1000mL contendo milho, *Zea mays* (Poaceae), em sala climatizada a $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotofase de 12h no Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo de Pragas e Doenças (NUDEMAFI), no Centro de Ciências Agrárias e Engenharia na Universidade Federal do Espírito Santo em Alegre, Espírito Santo, Brasil (CCAUE-UFES).

2.2. Obtenção dos componentes majoritários

Por meio de uma revisão bibliográfica sobre as respostas (fumigação, repelência, contato e deterrência) de alguns componentes de óleos essenciais sobre pragas de grãos armazenados, foram adquiridos timol, cânfora, terpineol, canfeno, eucaliptol, limoneno, β -pineno e eugenol da empresa Jacy Fragrância Ltda, localizada na Rua Limeira, 281 - São Fernando, Americana – São Paulo, CEP: 13454-214- São Paulo- Brasil. Esses componentes foram submetidos a análises de cromatografia no Laboratório de Catálise do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - Campus Alegre para certificar a veracidade dos componentes.

2.3. Preparo das misturas dos componentes majoritários

As misturas dos componentes majoritários timol, cânfora, terpineol, canfeno, eucaliptol, limoneno, β pineno e eugenol foram feitas na proporção conforme a metodologia de Pavela, 2015 Tabela 1.

Tabela 1. Proporções das misturas dos componentes majoritários (m/m).

Mistura	Proporção da mistura	Componentes majoritários
1	1:1:1	canfeno+cânfora+timol
2	1:1:1:1:1	limoneno+terpineol+ β -pineno+eucaliptol+eugenol
3	1:1	cânfora+canfeno
4	1:1	timol+cânfora
5	1:1	timol+canfeno
6	1:1	limoneno+terpineol
7	1:1	limoneno+ β -pineno
8	1:1	limoneno+eucaliptol
9	1:1	limoneno+eugenol
10	1:1	terpineol+ β -pineno
11	1:1	terpineol+eucaliptol
12	1:1	terpineol+eugenol
13	1:1	β -pineno+eucaliptol
14	1:1	β pineno +eugenol
15	1:1	eucaliptol+eugenol

2.4. Toxicidade aguda por fumigação sobre os adultos de *S.zeamais*

O experimento foi conduzido à temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotofase de 12h. Na avaliação do efeito fumigante, adotou-se a metodologia adaptada de Aslan et al., (2004). Utilizaram-se, como câmaras de fumigação, recipientes de vidro com 200 ml de capacidade, nos quais foram confinados 20 adultos de *S. zeamais*, não sexados com 10 dias de idade (COITINHO et al., 2006). Os componentes majoritários e suas misturas (Tabela 1), sem nenhum veículo de solubilização, foram aplicados com pipetador automático, 10 μ l em papéis-filtro com 18 cm², fixados na superfície inferior da tampa dos recipientes. Para evitar o contato direto das misturas dos componentes majoritários com os insetos, utilizou-se tecido poroso (filó) entre a tampa em que se encontrava o papel-filtro.

Para cada componente majoritário, suas misturas e controle (testemunha) foram realizados cinco repetições. Após 192 horas de exposição aos tratamentos foi contabilizado o número de adultos de *S. zeamais* mortos. Para confirmação da mortalidade dos adultos de *S. zeamais*, eles foram tocados com pincel de cerda fina.

2.4.1. Estimativa da concentração letal sobre os adultos de *S.zeamais*

Baseado nos resultados do bioensaio anterior, a mistura cânfora+canfeno apresentou mortalidade superior a 80% dos insetos. Foram utilizadas as concentrações (1, 4, 5, 6, 8 e 10 $\mu\text{l.ml}^{-1}$) da mistura para estimar a curva de concentração-resposta. Foram utilizados 360 adultos de *S. zeamais*, com idade de 5 a 10 dias de emergência. Para cada concentração foram realizadas três repetições, sendo o experimento repetido três vezes no tempo. A concentração letal capaz de causar 50 e 95% de mortalidade, CL_{50} e CL_{95} , respectivamente, foi estimada por meio da regressão Probit (FINNEY, 1971).

2.5. Efeito sobre emergência dos adultos *S. zeamais*

Após 192 horas de exposição dos adultos de *S. zeamais* aos componentes majoritários e suas misturas, os sobreviventes de *S. zeamais* foram sexados pelas características do rosto (HALSTEAD, 1963). Foi infestado 50g de milho com três machos e seis fêmeas, colocado em um recipiente de plástico de 150 ml com a tampa telada. Posteriormente colocado em BOD, a $25\pm 1^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e 12 horas de fotofase, deixados por 10 dias para cópula e oviposição (DOBIE, 1977). Após esse período os adultos foram retirados. Trinta e cinco dias após a infestação avaliou-se, a cada dois dias, por um período de dez dias, o número de adultos emergidos, os quais eram descartados após a contagem.

2.5.1 Análise de sobrevivência dos adultos de *S.zeamais*

Os adultos de *S. zeamais* sobreviventes do teste toxicidade foram colocados em potes de plásticos (7 x 6 cm) com tampas perfuradas, para entrada de ar, com 30g de milho em cada pote. A cada cinco dias era contabilizado o número de

indivíduos vivos e mortos em cada tratamento e no controle (água). Esse procedimento foi repetido até a morte do último inseto.

2.6. Resposta sobre caminhamento dos adultos de *S. zeamais*

Os bioensaios de resposta comportamental foram realizados em arenas de vidro (15×15 cm), nas quais metade foi pulverizada com componentes majoritários e suas misturas a 1% dissolvido em acetona, com o auxílio de aerógrafo. Enquanto uma metade estava coberta com uma chapa de plástico do tipo pvc rígida para evitar contaminação da outra metade, essa outra metade, usada como controle, foi pulverizada com acetona, seguindo os mesmos parâmetros da pulverização anterior. Após as arenas serem pulverizadas, foram deixadas por 15 minutos sobre uma mesa para serem secas à temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $80\pm 10\%$.

Após o período de secagem, foi liberado um adulto de *S. zeamais* no centro da arena tratada e mantido na arena por 10 minutos. Para evitar a fuga dos insetos, as bordas das arenas foram revestidas com uma fita de cola dupla face. Foram utilizados 30 insetos para cada tratamento, sendo cada inseto uma repetição. Para cada inseto, a atividade de caminhada dentro da arena foi gravada usando uma câmera de vídeo digital de 4K de resolução Full HD Motorola em um suporte de cano de PVC (Figura 3). Um sistema de rastreamento de vídeo Tox Trac (RODRIGUEZ et al., 2018) foi usado para analisar os vídeos e medir a distância que os insetos percorreram e o tempo gasto sem movimento em cada metade da arena. Os insetos que passaram <1s na metade da arena tratada com inseticida foram considerados repelidos, enquanto aqueles que passaram <50% do tempo na superfície tratada com inseticida foram considerados irritados (PLATA-RUEDA et al., 2019).

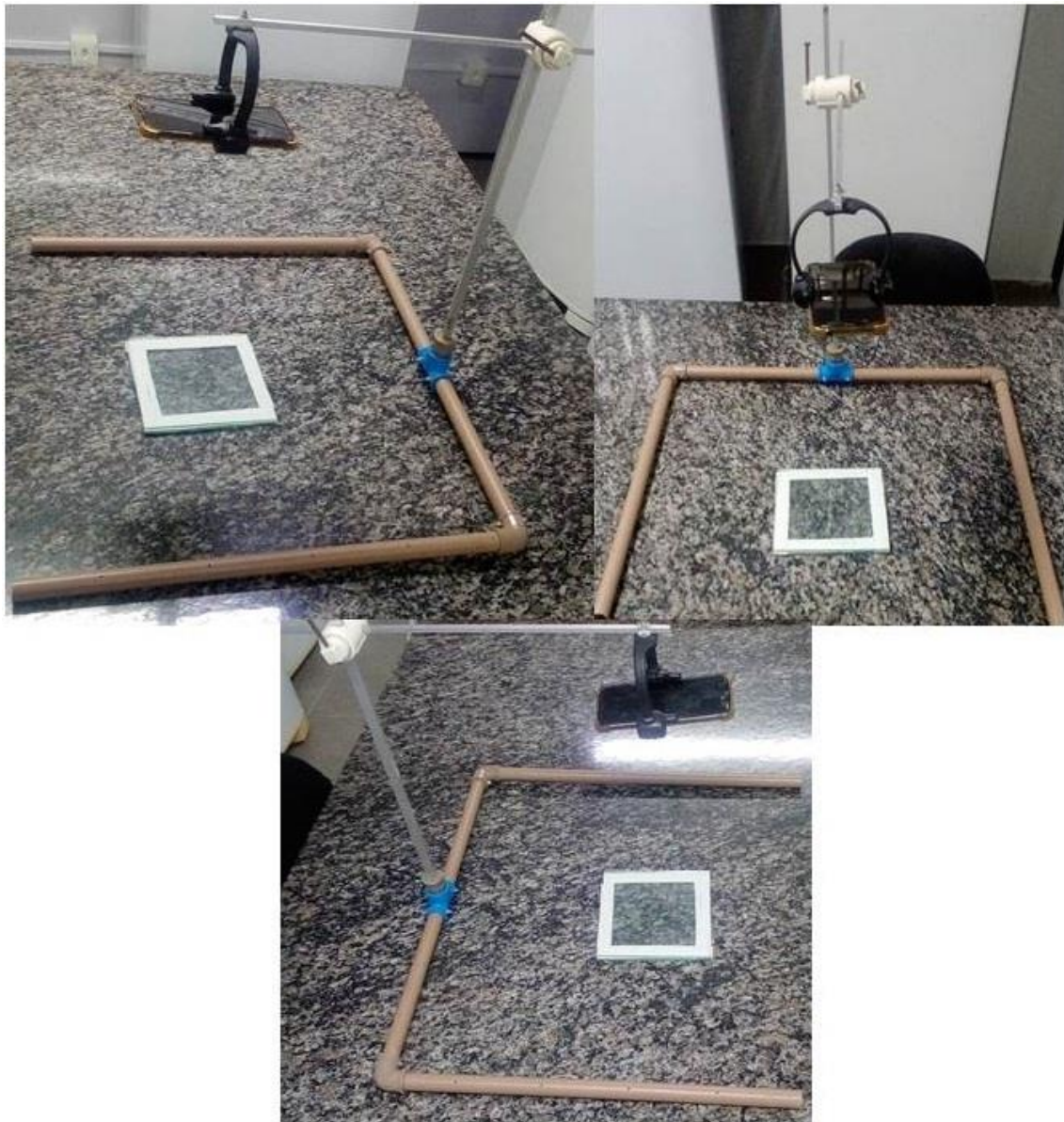


Figura 3: Suporte para filmagem dos insetos nas arenas.

Fonte: Próprio autor

2.7. Análise dos dados

Para os ensaios de toxicidade aguda por fumigação e efeito sobre emergência dos adultos foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Para análise dos dados de sobrevivência foram usados estimadores de Kaplan-Meier (teste de log-rank). Os adultos de *S. zeamais* que não sobreviveram até o final do experimento foram tratados como dados censurados. Os dados de resposta sobre o caminhamento foram submetidos à análise de variância unidirecional (ANOVA), com médias comparadas pelo teste de Scott-Knott

($p \leq 0,05$). Os dados de toxicidade aguda, efeito sobre emergência, análise de sobrevivência e resposta sobre o caminhamento foram analisados usando o programa R Development Core Team (2010).

3. RESULTADOS

3.1. Toxicidade aguda por fumigação sobre adultos de *S.zeamais*

A eficácia dos componentes majoritários em termos de efeito letal contra adultos de *S. zeamais* é apresentada na Figura 4. Dos oito componentes majoritários testados, um (eucaliptol) causou toxicidade aguda de 60% ($F_{23, 96}=29,90$; $P < 0.001$) na dose mais alta aplicada de 10 μ l/ml. Porém os outros sete componentes (timol, cânfora, canfeno, limoneno, eugenol, terpineol e β pineno) causaram mortalidade entre 30 e 45% ($F_{23, 96}=29,90$; $P < 0.001$).

Foram avaliadas 15 misturas (Fig. 4), dessas, a mistura cânfora+canfeno apresentou efeito sinérgico, com uma CL_{50} e CL_{90} de 2,77 μ l/mL ar e 20,34 μ l/mL ar respectivamente, Tabela 2.

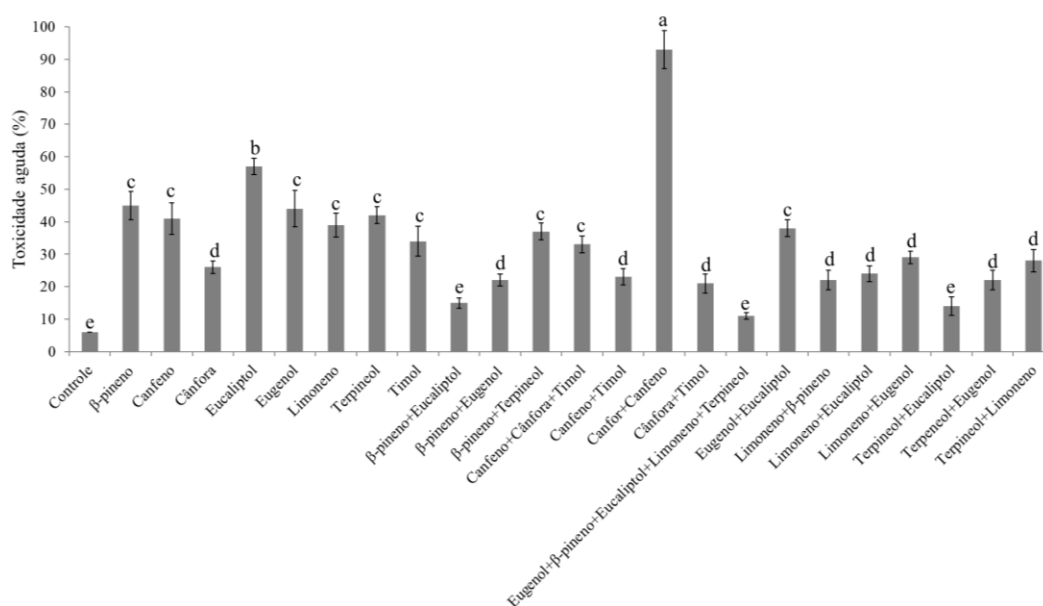


Figura 4: Porcentagem de adultos mortos de *S. zeamais* à temperatura de 25 \pm 1 $^{\circ}$ C, umidade relativa de 70 \pm 10% e fotofase de 12h, por componentes majoritários e suas misturas; letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Concentração letal da mistura cânfora+canfeno sobre adultos de *S. zeamais*.

Tratamento	N ^a	GL ^b	Slop±SE ^c	X ^{2d}	P ^e	Concentração letal ((µl/mL) IC 95% ^f)	
						CL ₅₀	CL ₉₅
Cânfora+Canfeno	360	4	1,90 ± 0,23	2,84	0,58	2,77 (2,16±3,34)	20,34 (14,57±34,28)

^a Número de indivíduos.

^b Graus de Liberdade.

^c Inclinação da reta.

^d Qui-quadrado.

^e Valor-p.

^f Intervalo de confiança.

3.2. Efeito sobre emergência dos adultos *S. zeamais*

Para o efeito sobre a emergência de adultos *S. zeamais* apresentado na Figura 5, os componentes majoritários eugenol, β-pineno, eucaliptol e eugenol apresentaram entre 16 a 20% ($F_{22, 92}=6,91$; $P <0.001$) de emergência de *S. zeamais*, seguido do canfeno com 23% ($F_{22, 92}=6,91$; $P <0.001$); timol, cânfora e terpineol 36 a 40% ($F_{22, 92}=6,91$; $P <0.001$) e limoneno 46% ($F_{22, 92}=6,91$; $P <0.001$).

Com relação ao efeito sobre a emergência de adultos *S. zeamais* nas 14 misturas exibidas na Figura 5, as misturas canfeno+cânfora+timol; limoneno+β-pineno; terpineol+eugenol; terpineol+β-pineno; limoneno+eucaliptol apresentaram a menor taxa de emergência de *S.zeamais* entre 3 a 8% ($F_{22, 92}=6,91$; $P <0.001$).

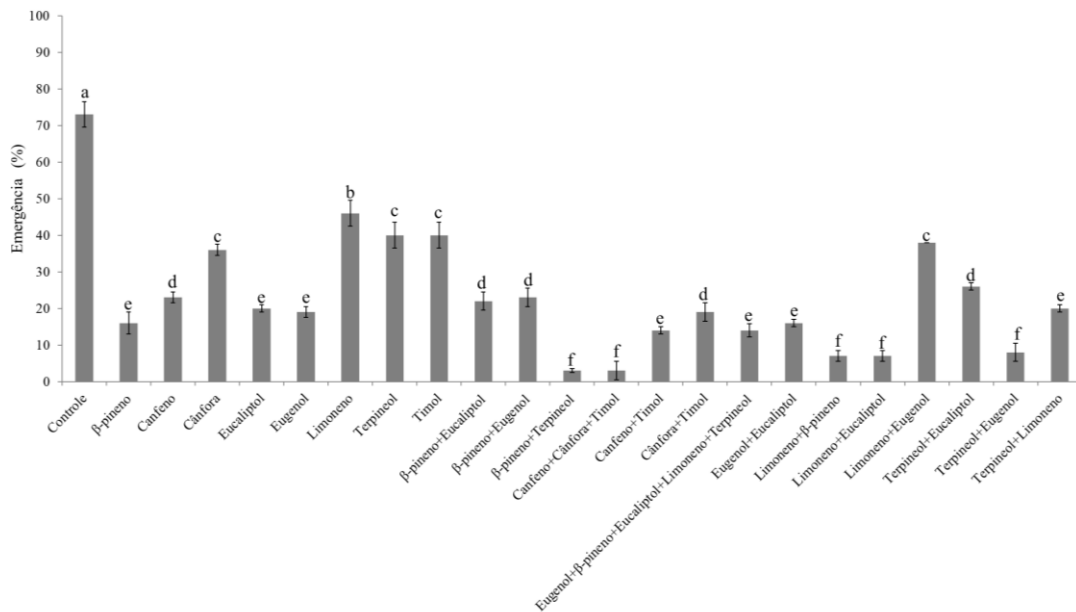


Figura 5: Porcentagem de emergência de *S. zeamais* à temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotofase de 12h, por componentes majoritários e suas misturas; letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

3.2.1. Análise de sobrevivência dos adultos de *S. zeamais*

A análise de sobrevivência de adultos de *S. zeamais* expostos aos componentes majoritários e suas misturas indicou diferenças significativas entre os tratamentos (teste log-rank; $\chi^2 = 130$; $df = 22$; $P < 0,001$). A mistura terpeniol+limoneno proporcionou menor tempo médio de sobrevivência 12 dias, seguido das misturas canfeno+cânfora+timol e cânfora+timol 20 dias (Fig. 6).

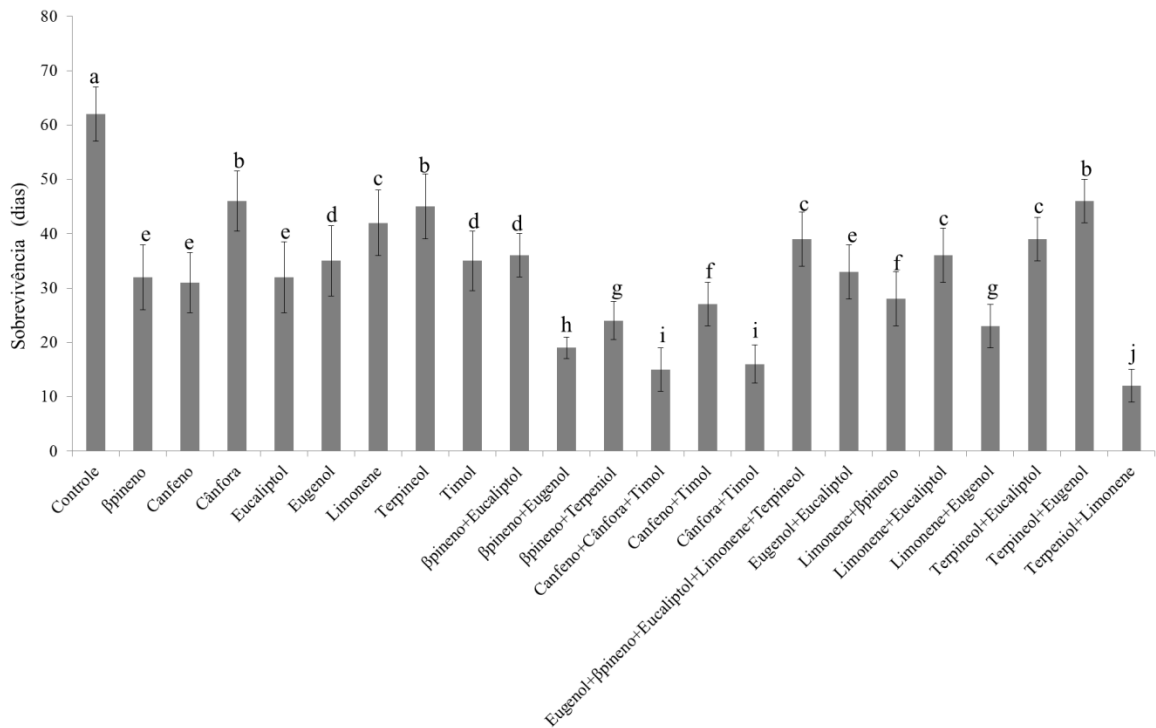


Figura 6: Análise de sobrevivência de *S. zeamais* à temperatura de $25\pm 1^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotofase de 12h, por componentes majoritários e suas misturas; letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

3.3. Respostas sobre o caminhamento dos adultos de *S. zeamais*

As respostas comportamentais dos adultos dos *S. zeamais* liberadas em arenas semitratadas são mostradas na Fig.7 e na Fig.8. A distância percorrida foi maior no componente majoritário timol 382 cm ($F_{23, 696} = 57,66$; $P < 0.001$) e terpineol 272 cm ($F_{23, 696} = 57,66$; $P < 0.001$). A menor distância percorrida foi nas misturas β -pineno+eucaliptol e terpineol+limoneno 15 cm ($F_{23, 696} = 57,66$; $P < 0.001$) Fig.7. O tempo de descanso foi maior no componente majoritário timol 12s ($F_{23, 691} = 30,79$; $P < 0.001$), seguido por terpineol 10,88s ($F_{23, 691} = 30,79$; $P < 0.001$), Eucaliptol 10,74s ($F_{23, 691} = 30,79$; $P < 0.001$) e β pineno 10,54s ($F_{23, 691} = 30,79$; $P < 0.001$) e as misturas cãnfora+timol 8,58s ($F_{23, 691} = 30,79$; $P < 0.001$) e limoneno+eucaliptol 8,52s ($F_{23, 691} = 30,79$, $P < 0.001$) comparado com o controle. Entretanto, as misturas β pineno+eucaliptol 4,66s ($F_{23, 691} = 30,79$; $P < 0.001$) e terpeniol+limoneno 2s ($F_{23, 691} = 30,79$; $P < 0.001$) apresentaram menor tempo de repouso que o controle (Fig.8).

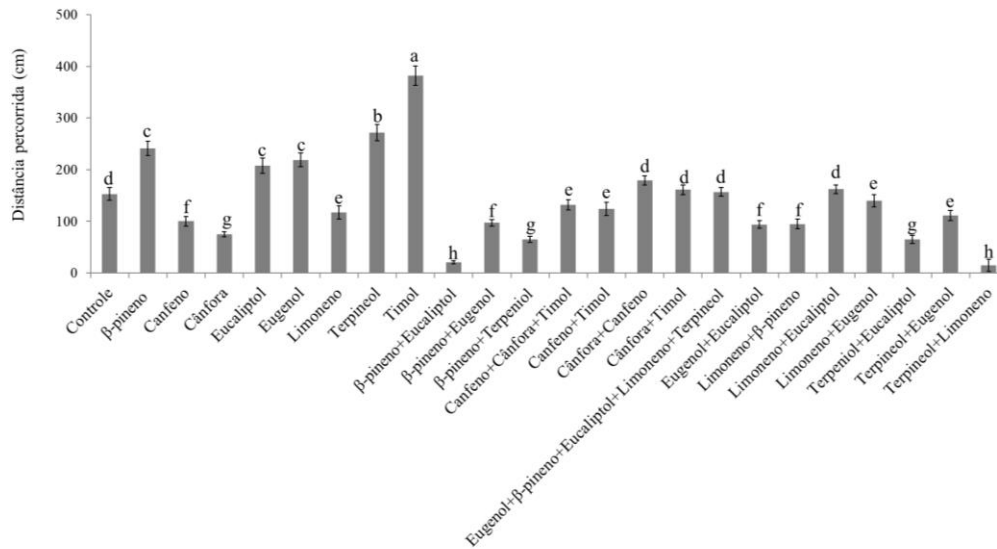


Figura 7: Resposta comportamental em distância percorrida nas arenas (cm) de *S. zeamais* à temperatura de $25\pm 1^\circ\text{C}$, umidade relativa de $50\pm 10\%$, dos compostos majoritários e das misturas; letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

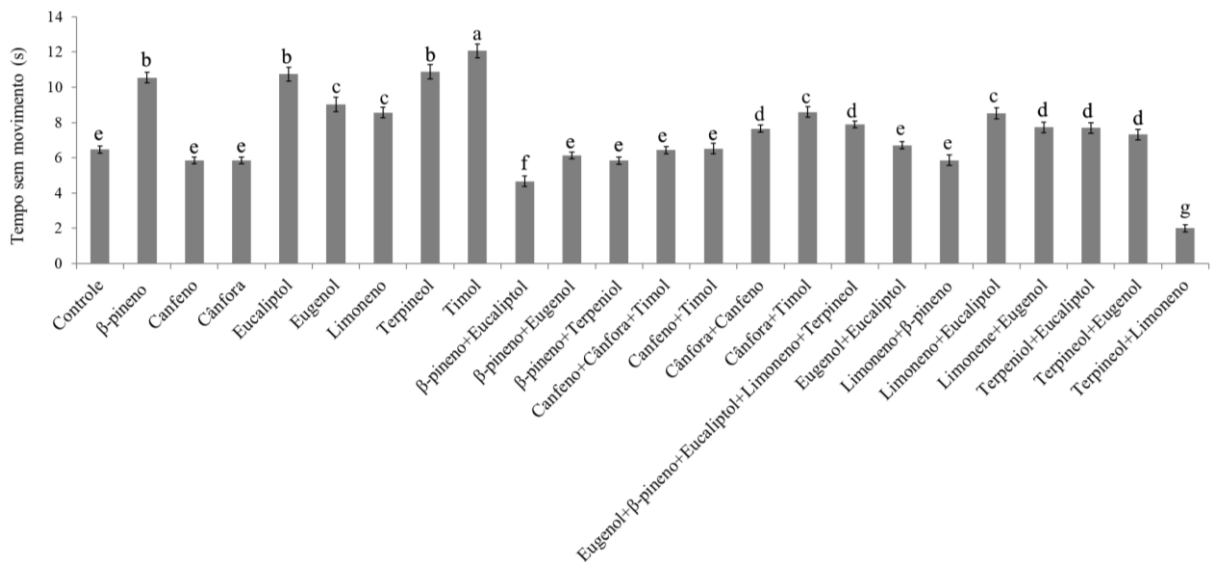


Figura 8: Resposta comportamental em tempo sem movimento nas arenas (s) de *S. zeamais* à temperatura de $25\pm 1^\circ\text{C}$, umidade relativa de $50\pm 10\%$, dos compostos majoritários e das misturas; letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

4. DISCUSSÃO

O efeito letal dos componentes majoritários pode ser somado com a preparação de misturas, como foi observado com cânfora+canfeno, que mostrou toxicidade aguda por fumigação sobre adultos de *S. zeamais* (CL_{50} 2,10 $\mu\text{l/mL}$), concentração inferior da fosfina (PH_3) usada sobre *Trogoderma*

granarium Everts, 1899 (Coleoptera: Dermestidae) e *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera, Bostrichidae) (MANIVANNAN et al., 2016; RIAZ et al., 2017). A alta toxicidade aguda via a fumigação apresentada pela mistura de cânfora+canfeno pode estar relacionada ao sinergismo da cânfora com o canfeno, por pertencerem a grupos diferentes, monoterpenos oxigenados e monoterpeno bicíclico. A interação de componentes majoritários de diferente grupo foi estudada por Tak e Isman (2017), que evidenciou a interação entre o componente monoterpeno α -terpineol+fenólico vanillin sobre *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae); embora seja difícil definir com precisão a eficácia de componentes majoritários individuais sobre os insetos, devido à complexidade dos efeitos sobre o mesmo, causando toxicidade aguda, repelência e efeito sobre emergência de adultos (ISMAN, 2006). Para efeito sobre a emergência de adultos *S. zeamais*, as misturas canfeno+cânfora+timol; limoneno+ β -pineno; terpineol+eugenol; terpineol+ β pineno; limoneno+eucaliptol exibiram uma taxa de emergência entre 3 a 8% de adultos de *S. zeamais*. O resultado apresentado pode ser devido os componentes majoritários pertencerem a grupos diferentes, monoterpeno oxigenado, monoterpeno bicíclico, fenol, hidrocarboneto, álcool e monoterpenóides. Resultado semelhante ocorreu no trabalho de Santos et al. (2017), avaliando óleo essencial de *Lippia sidoides* Cham. 1832 (Verbenaceae) que possui três componentes majoritários (timol, cariofileno e terpin-4-ol) de diferentes grupos, sobre *Cryptotermes brevis* (Walker, 1853) (Blattodea: Termitoidea). Titouhi et al., (2017) avaliou o efeito subletal dos óleos essenciais de *Artemisia herba-alba* Asso., (Asteraceae) e *Artemisia campestris* L. (Asteraceae) sobre *Bruchus rufimanus* (Boheman) Coleoptera: Chrysomelidae), apresentando uma taxa de emergência de adultos entre 0,3 a 0,7%, esse resultado está relacionado aos componentes majoritários presentes nos óleos essenciais que pertencem a diferentes grupos.

Os componentes majoritários e suas misturas interferiram na sobrevivência dos adultos de *S. zeamais*. Porém alguns óleos essenciais e componentes majoritários podem ter ação lenta por fumigação, ingestão ou tópica, similar ao inseticida sintético ciantraniliprole (NEOH et al., 2012; RODITAKIS et al., 2013). Conforme Lopez e Pascual-Villalobos (2010), a Acetil-colinesterase (AChE) de diferentes insetos pode ser inibida por óleos essenciais e seus componentes

majoritários. A diminuição da atividade da AChE causa uma mudança direta no comportamento dos insetos, como voo, cópula, oviposição e sobrevivência e bem como alterações em muitos outros processos biológicos dos insetos, além de afetar indiretamente a remobilização lipídica no metabolismo oxidativo da ovogênese (LU et al., 2012; REGNAULT-ROGER, 2013). No entanto, os óleos essenciais *Citrus reticulata* Blanco, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, *Citrus limon* (L.) Burm. f., *Citrus paradisi* Macf. e seus componentes majoritários α -pinene, Beta pineno, *p*-cimeno, Mirceno, γ -terpineno e D-limoneno não interferiram na sobrevivência *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae) (MUTHUTHANTRI et al., 2015). Santos et al. (2017) evidenciou que o óleo essencial *Piper aduncum* L. (Piperaceae) apresentou impacto significativo na sobrevivência das lagartas de *Helicoverpa armigera* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae).

O teste de resposta comportamental indicou que as misturas β -pineno+eucaliptol e terpineol+limoneno e os componentes majoritários timol e terpineol apresentaram efeitos substancial sobre *S. zeamais*. As misturas β -pineno+eucaliptol e terpineol+limoneno foram repelentes para os indivíduos de *S. zeamais*, enquanto timol e terpineol tiveram efeitos atraentes. Esses efeitos podem estar relacionados à detecção de substâncias pelas sensilas olfativas dos insetos, responsáveis pelo desencadeamento do comportamento de escape. Assim, quando *S. zeamais* reconhecem as substâncias, aumentam as atividades de locomoção como estratégia de fuga (MISSBACH et al., 2014). Essas alterações nos padrões de caminhada dos insetos ocorrem como resultado da ação de compostos tóxicos no sistema nervoso, que estimulam ou reduzem a mobilidade dos insetos (PLATA-RUEDA et al., 2019). No entanto, o resultado apresentado pelo timol no presente trabalho contraria o resultado apresentado por Oliveira et al., (2018): o timol atuou repelindo os insetos. Tripathi et al. (2009) evidenciaram que diferentes partes das plantas podem apresentar componentes majoritários diferentes e efeitos diferentes sobre material biológico.

5. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que os componentes majoritários e suas misturas causaram mortalidade e interferiram na sobrevivência e sobre a emergência de

adultos, além de alterar a atividade comportamental de *S. zeamais*. Entretanto, precisam ser realizados mais estudos sobre esses produtos para comprovar suas ações sobre o meio ambiente e sobre os seres humanos.

6. REFERÊNCIAS

ASLAN, İ., OZBEK, H., ÇALMAŞUR, O., ŞAHİN, F. Toxicity of essential oil vapours to two greenhouse pests, *Tetranychus urticae* Koch and *Bemisia tabaci* Genn. **Indian Crop Prod.** 19,167–173,2004.

COITINHO, R.L.B.C., OLIVEIRA, J.V., GONDIM JÚNIOR, M.G.C., CÂMARA, C.A.G. Toxicidade de óleos para adultos de *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera, Curculionidae) em grãos de milho armazenados. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, 31, 29-34,2006.

Dobie, P. The contribution of the tropical stored products centre to the study of insect resistance in stored maize. **Tropical Stored Products Information Great Britain**, Berkshire, 34, 7-22,1977.

Finney, D.J. Probit Analysis, Cambridge University, London, 68–78,1971.

Halstead, D. G. H. E. External sex differences in stored products Coleoptera. **Bulletin of Entomological Research**, London, 54, 119-134, 1963.

ISMAN, M.B. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. **Annual Review of Entomology**, 517, 45-66, 2006.

KUMAR, P., MISHRA, S., MALIK, A., SATYA, S. Repellent, larvicidal and pupicidal properties of essential oils and their formulations against the housefly, *Musca domestica*. **Med. Vet. Entomol.** 25, 302–310, 2011.

LOPEZ, M.D., PASCUAL-VILLALOBOS, M.J. Mode of inhibition of acetylcholinesterase by monoterpenoids and implications for pest control. **Ind. Crops Prod.** 31, 284–288, 2010.

LORINI, I., KRZYŻANOWSKI, F. C., FRANÇA-NETO, J. B., HENNING, A. A., HENNING, F. A. **Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas**. Embrapa Soja, Brasília, DF. p. 84, 2015.

LU, Y., PARK, Y., GAO, X., ZHANG, X., YAO, J., PANG, Y.P., JIANG, H., ZHU, K.Y. Cholinergic and non-cholinergic functions of two acetylcholinesterase genes revealed by gene-silencing in *Tribolium castaneum*. **Sci. Rep.** 2, 288, 2012.

LU, Y., ZHONG, J., WANG, Z., LIU, F., WAN, Z. Fumigation toxicity of allicin maize weevils (*Sitophilus zeamais* Mots.) in northwestern Ethiopia. **J. Stored Prod. Res.** 55, 48–54, 2013.

MANIVANNAN, S., KOSHY, G. E., PATIL, S. A. Response of phosphine-resistant mixed-age cultures of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.) to different phosphine-carbon dioxide mixtures. **Journal of Stored Products Research**, 69, 175–178, 2016.

MISSBACH, C., DWECK, H.K., VOGEL, H., VILCINSKAS, A., STENSMYR, M.C., HANSSON, B.S., GROSSE-WILDE, E. **Evolution of insect olfactory receptors**. 3, 1–22, 2014.

MOREAU, T.L., ISMAN, M.B. Combining reduced-risk products, trap crops and yellow sticky traps for greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) management on sweet peppers (*Capsicum annum*). **Crop Protect.** 34, 42–46, 2012.

NEOH, K.B., HU J., YEOH, B.H., LEE, C.Y. Toxicity and horizontal transfer of chlorantraniliprole against the Asian subterranean termite *Coptotermes gestroi* (Wasmann): effects of donor: recipient ratio, exposure duration and soil type. **Pest Manag Sci.** 68,749–756, 2012.

OLIVEIRA, A. P., SANTOS, A. A., SANTANA, A. S., LIMA, A. P. S., MELO, C. R.; SANTANA, E. D.R., SAMPAIO, T. S., BLANKA, A. F., ARAÚJO, A. P. A., CRISTALDO, P. F., BACCIA, L. Essential oil of *Lippia sidoides* and its major compound thymol: Toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Crop Protection**, 112, 33–38, 2018.

OLIVEIRA, D. S. **Interação Medicamentosa**: Parte II. Caderno de Farmácia, v. 2, n. 2, p. 97-110,1986.

PAES, J.L., FARONI, L.R.D.A., DHINGRA, O.D., CECON, P.R., SILVA, T.A. Insecticidal fumigant action of mustard essential oil against *Sitophilus zeamais* in maize grains. **Crop Protection**, 34, 56-58, 2012.

PAVELA, R. Acute toxicity and synergistic and antagonistic effects of the aromatic compounds of some essential oils against *Culex quinquefasciatus* Say larvae. **Parasitol Res**, 114:3835-3853, 2015.

PLATA-RUEDA, A., MARTÍNEZ, L.C., SILVA, B. K. R., ZANUNCIO, J.C., FERNANDES, M.E.S., NARCISO, R.C.G., FERNANDESA, F.L. Exposure to cyantraniliprole causes mortality and disturbs behavioral and respiratory responses in the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). **Pest Manag Sci.** 75, 2236–2241, 2019.

R DEVELOPMENT CORE TEAM R. **A language and environment for statistical computing, reference index version 2.12.1.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0, 2010.

REGNAULT-ROGER, C. Essential oils in insect control. In: Ramawat, K.G., Merillon, J.- M. (Eds.), Natural Products. **Springer Berlin Heidelberg**, Berlin, Heidelberg, p. 4087–4107, 2013.

RIAZ, T., SHAKOORI, F.R., ALI, S.S. Effect of Phosphine on Esterases of Larvae and Adult Beetles of Phosphine-Exposed Populations of Stored Grain Pest, *Trogoderma granarium* Collected from Different Godowns of Punjab. **Pakistan J. Zool.** 49, 819-824, 2017.

RODRIGUEZ, A., ZHANG, H., KLAMINDER, J., BRODIN, T., ANDERSSON, P. L. AND ANDERSSON, M. ToxTrac: a fast and robust software for tracking organisms. **Methods in Ecology and Evolution.** 3, 460–464, 2018.

RODITAKIS, E., SKARMOUTSOU, C., STAUERAKAKI, M., DEL ROSARIO, MARTÍNEZ-AGUIRRE, M., GARCÍA-VIDAL, L., BIELZA, P., HADDI, K., RAPISARDA, C., RISON, C., BASSI, A., TEIXEIRA, L. A. Determination of baseline susceptibility of European populations of *Tuta absoluta* (Meyrick) to indoxacarb and chlorantraniliprole using a novel dip bioassay method. **Pest Manag Sci.** 69,217-227, 2013.

SANTOS, A. A., OLIVEIRA, B. M. S., MELO, C. R., LIMA, A. P. S., SANTANA, E. D. R., BLANK, A. F., PICANÇO, M., ARAÚJO, A.P. A., CRISTALDO, P.F., BACCI, L. Sub-lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea: Termitoidea). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 145, 436–441, 2017.

SANTOS, J.C., FARONI, L.R.A., SOUSA, A.H., GUEDES, R.N.C. Fumigant toxicity of allyl isothiocyanate to populations of the red flour beetle *Tribolium castaneum*. **J. Stored Prod. Res.** 47, 238–243, 2011.

SANTOS, T.L.B., TURCHEN, L.M., OGLIO, E.L., D., BUTNARIU, A.R., PEREIRA, M. J. B. Phytochemical of *Piper* essential oil and acute toxicity against *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Rev. Bras. de Ciências Agrárias.** 12, 484-489, 2017.

.

TAK, J.H., ISMAN, M.B. Acaricidal and repellent activity of plant essential oil-derived terpenes and the effect of binary mixtures against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Industrial Crops & Products.* 108,786–792, 2017.

TITOUHI, F., AMRI, M., MESSAOUD, C., HAOUEL, S., YOUSSEFI, S., CHERIF, A., MADIOUNI BEN JEMÂA, J. Protective effects of three *Artemisia essential* oils against *Callosobruchus maculatus* and *Bruchus rufimanus* (Coleoptera:

Chrysomelidae) and the extended side-effects on their natural enemies. **Journal of Stored Products Research**, 72, 11–20, 2017.

TRIPATHI, A. K., UPADHYAY, S., BHUIYAN, M., BHATTACHARYA, P. R. A review on prospects of essential oils as biopesticide in insect-pest management. **Jour. of Pharm. and Phyt.** 5, 000-000, 2009.

WALE, M., ASSEGIE, H. Efficacy of castor bean oil (*Ricinus communis* L.) against maize weevils (*Sitophilus zeamais* Mots.) in northwestern Ethiopia. **Jour. Stored Prod. Res.** 63, 38–41, 2015.

ZHANG, C., WU, H., ZHAO, Y., MA, Z., ZHANG, X. Comparative studies on mitochondrial electron transport chain complexes of *Sitophilus zeamais* treated with allyl isothiocyanate and calcium phosphide. **Pestic. Biochem. Physiol.** 126, 70–75, 2016.

CAPÍTULO III

Toxicidade aguda, efeito subletal e alteração no comportamento de *Lasioderma serricorne* Fabricius (Coleoptera: Anobiidae) exposto aos componentes majoritários de óleos essenciais

ATAIDE, J.O., ZAGO, H.B., SANTOS JÚNIOR, H. J. G., MENINI, L. CARVALHO, J. R. Acute toxicity, sublethal effect and changes in the behavior of *Lasioderma serricorne* Fabricius (Coleoptera: Anobiidae) exposed to major components of essential oils. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e170985581, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5581.

RESUMO

Lasioderma serricorne Fabricius (Coleoptera: Anobiidae) (besouro do cigarro) é amplamente distribuído em todo o mundo, especialmente em áreas tropicais e subtropicais. Causam danos econômicos significativos em tabaco, grãos armazenados e alimentos processados. O controle das populações de *L. serricorne* é feito com aplicações de fosfina e piretóides. A busca por substâncias para controle de insetos, que sejam ambientalmente corretas, torna-se uma necessidade nos tempos atuais. Os óleos essenciais e seus componentes majoritários têm desempenhado papel significativo no desenvolvimento de inseticidas. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a toxicidade aguda, o efeito sobre sobrevivência e emergência e a resposta do caminhamento de alguns compostos majoritários de óleos essenciais, timol, cânfora, terpineol, canfeno, eucaliptol, limoneno, β -pineno, eugenol e de suas misturas sobre *L. serricorne*. Os resultados mostraram que os componentes majoritários e as misturas causaram toxicidade aguda, reduziram o tempo de sobrevivência e a produção de proles e alteraram a atividade comportamental de *L. serricorne*. Os componentes majoritários eucaliptol e terpineol apresentaram 65% de mortalidade, na qual as misturas terpineol+eucaliptol e cânfora+timol apresentaram 47 e 52% sobre os adultos de *L. serricorne*. A mistura terpineol+limoneno permitiu apenas 4% de emergência de adultos de *L. serricorne*. A atividade comportamental foi alterada pela mistura eucaliptol+eugenol. Os resultados evidenciaram que os

componentes majoritários e as misturas são promissores para elaboração e produção de novos inseticidas.

Palavras-Chave: Monoterpeno, Sesquiterpeno, Besouro do cigarro, Alimentos processados.

Acute toxicity, sublethal effect and changes in the behavior of *Lasioderma serricornis* Fabricius (Coleoptera: Anobiidae) exposed to major components of essential oils

ATAIDE, J.O., ZAGO, H.B., SANTOS JÚNIOR, H. J. G., MENINI, L. CARVALHO, J. R. Acute toxicity, sublethal effect and changes in the behavior of *Lasioderma serricornis* Fabricius (Coleoptera: Anobiidae) exposed to major components of essential oils. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e170985581, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5581.

ABSTRACT

Lasioderma serricornis Fabricius (Coleoptera: Anobiidae) (cigarette beetle) is widely distributed worldwide, especially in tropical and subtropical areas. They cause significant economic damage to tobacco, stored grains and processed foods. The control of populations *L. serricornis* is done with applications of phosphine and pyrethroids. The search for substances for the control of insects, which are environmentally friendly, becomes a necessity nowadays. Essential oils and their major components have played a significant role in the development of insecticides. Thus, the objective of this work was to evaluate acute toxicity, effect on survival and emergency and the response of the path of some major compounds of essential oils, thymol, camphor, terpineol, camphene, eucalyptol, limonene, β -pinene, eugenol and their mixtures on *L. serricornis*. The results show that the major components and mixtures caused acute toxicity, reduced the survival time and production of offspring and altered the behavioral activity of *L. serricornis*. The major components eucalyptol and terpineol showed 65% mortality, in which the mixtures terpineol + eucalyptol and camphor + thymol presented 47 and 52% in adults of *L. serricornis*. The mixture between terpineol + limonene allowed only 4% of adults to *L. serricornis* emergence. Behavioral activity was altered by the eucalyptol + eugenol mixture. The results showed that the major components and mixtures are promising for the preparation and production of new insecticides.

Keywords: Monoterpene, Sesquiterpene, Cigarette beetle, Processed foods.

1. INTRODUÇÃO

Lasioderma serricorne Fabricius (Coleoptera: Anobiidae) (besouro do cigarro) é, desde 1993, amplamente distribuído em todo o mundo, especialmente em áreas tropicais e subtropicais (LORINI et al., 2010). Causam danos econômicos significativos em tabaco, cereais, alimentos processados e rações (LORINI et al., 2015). Os adultos do besouro do cigarro e as larvas escavam galerias nos produtos armazenados, sendo que os adultos usam as galerias somente para postura e acasalamento, já as larvas abrem galerias ao se alimentarem. Isso promove perdas quantitativas, ou seja, perda de peso e perdas qualitativas, entre as quais, presença dos insetos e formação de galerias nos produtos armazenados (LORINI et al., 2010).

O controle das populações de *L. serricorne* é feito com aplicações de fosfina e piretóides (WHITE; LEESCH, 1995; PHILLIP; THRONE, 2010). Entretanto, o uso contínuo de inseticidas por décadas levou a sérios problemas, como desenvolvimento de populações de insetos resistentes, contaminação de organismos não alvo, poluição ambiental e o aumento do custo de armazenamento (RAJENDRAN; NARASIMHAN, 1994; JOVANOVIĆ et al., 2007; PHILLIP; THRONE, 2010). A busca por substâncias para controle de insetos, que sejam ambientalmente corretas, torna-se uma necessidade nos tempos atuais. Desse modo, os óleos essenciais e seus componentes majoritários têm desempenhado um papel significativo no desenvolvimento de inseticidas (BACHROUCH et al., 2010).

Nos últimos anos, pesquisas com os óleos essenciais extraídos de plantas, bem como estudos como o uso isolado ou associado dos componentes majoritários presentes nos óleos essenciais, têm sido considerados promissores para o controle de insetos pragas (ERDEMİR; ERLER, 2017; MARTINS et al., 2017). Os mesmos são tipicamente caracterizados por apresentar menor toxicidade em mamíferos, baixa persistência no meio ambiente e decréscimo no desenvolvimento de resistência dos insetos (ASLAN et al., 2004; SANTOS et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2018).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a toxicidade aguda, o efeito sobre sobrevivência e a emergência dos adultos, e a alteração no caminhamento de *L. serricorne* expostos aos componentes majoritários de alguns óleos essenciais timol, cânfora, terpineol, canfeno, eucaliptol, limoneno, β -pineno, eugenol e de suas misturas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Material Biológico

Os adultos de *L. serricorne* foram coletados em grãos de cereais em Alegre-ES (Longitude; 236388.83; Latitude; 7702046.33), em seguida foram identificados pela chave proposta por Pereira e Almeida (2001). A criação foi desenvolvida em potes de plástico (50x50cm) em germe de trigo, em sala climatizada a $34\pm 1^\circ\text{C}$, U.R. $70\pm 10\%$ e fotofase de 12h segundo Howe, 1957, no Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Manejo de Pragas e Doenças (NUDEMAFI), no Centro de Ciências Agrárias e Engenharia na Universidade Federal do Espírito Santo em Alegre, Espírito Santo, Brasil (CCAUE-UFES).

2.2. Obtenção dos componentes majoritários

Através de uma revisão bibliográfica sobre as respostas (fumigação, repelência, contato e deterrência) de alguns componentes de óleos essenciais sobre pragas de grãos armazenados, foram adquiridos timol, cânfora, terpineol, canfeno, eucaliptol, limoneno, β -pineno e eugenol da empresa Jacy Fragrância Ltda, localizada na Rua Limeira, 281 - São Fernando, Americana – São Paulo, CEP: 13454-214- São Paulo- Brasil. Esses componentes foram submetidos a análises de cromatografia no Laboratório de Catálise do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - Campus Alegre para certificar a veracidade dos componentes.

2.3. Preparo das misturas dos componentes majoritários

As misturas dos componentes majoritários timol, cânfora, terpineol, canfeno, eucaliptol, limoneno, β -pineno e eugenol foram feitas na proporção conforme a metodologia de Pavela, 2015 (Tabela 3).

Tabela 3. Proporções das misturas dos componentes majoritários (m/v)

Mistura	Proporção da mistura	Componentes majoritários
1	1:1:1	canfeno+cânfora+timol
2	1:1:1:1:1	limoneno+terpineol+ β -pineno+eucaliptol+eugenol
3	1:1	cânfora+canfeno
4	1:1	timol+cânfora
5	1:1	timol+canela
6	1:1	limoneno+terpineol
7	1:1	limoneno+ β -pineno
8	1:1	limoneno+eucaliptol
9	1:1	limoneno+eugenol
10	1:1	terpineol+ β pineno
11	1:1	terpineol+eucaliptol
12	1:1	terpineol+eugenol
13	1:1	β -pineno+eucaliptol
14	1:1	β -pineno+eugenol
15	1:1	eucaliptol+eugenol

2.4. Toxicidade aguda por fumigação sobre os adultos de *L. serricorne*

O experimento foi conduzido à temperatura de $34 \pm 1^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12h. Na avaliação do efeito fumigante, adotou-se a metodologia adaptada de Aslan et al. (2004). Utilizaram-se, como câmaras de fumigação, recipientes de vidro com 200 ml de capacidade, nos quais foram confinados 20 adultos de *L. serricorne*, não sexados com cinco dias de idade. Os componentes majoritários e suas misturas (Tabela 3), sem nenhum veículo de solubilização, foram aplicados com pipeta automática, 10 μ l em papéis-filtro com 18 cm², fixados na superfície inferior da tampa dos recipientes. Para evitar o contato direto das misturas dos componentes majoritários com os insetos, utilizou-se tecido poroso (filó).

Para cada componente majoritário, suas misturas e controle (testemunha) foram realizadas cinco repetições. Após 72 horas de exposição aos tratamentos foi contabilizado o número de adultos de *L. serricorne* mortos. Para confirmação da mortalidade dos adultos de *L. serricorne*, foram tocados com pincel de cerda fina, os *L. serricorne* imóveis foram considerados mortos.

2.5. Efeito sobre emergência de adultos de *L. serricorne*

Após 72 horas de exposição dos adultos de *L. serricorne* aos componentes majoritários e suas misturas nos ensaios de toxicidade aguda, os sobreviventes de *L. serricorne* foram sexados pelas características do rosto (JONES, 1913). Foi infestado 20 g de germe de trigo com três machos e seis fêmeas, colocado em recipiente de plástico de 150 ml, as tampas dos recipientes de plásticos foram furadas para permitir trocas gasosas. Os ensaios foram em câmaras climáticas tipo BOD, a $34\pm 1^{\circ}\text{C}$, $70\pm 10\%$ UR e 12 horas de fotofase, deixados por 10 dias para cópula e oviposição. Após esse período, os adultos foram retirados. Vinte e cinco dias após a infestação avaliou-se, a cada dois dias, por um período de 10 dias, a quantidade de insetos emergidos.

2.5.1. Análise de sobrevivência dos adultos de *L. serricorne*

Os adultos de *L. serricorne* sobreviventes do teste toxicidade foram acondicionados em potes de plásticos (7x6 cm) com tampas perfuradas para permitir trocas gasosas e impedir a fuga dos insetos, com 10g de germe de trigo em cada pote em câmara climática tipo BOD a $34\pm 1^{\circ}\text{C}$, $70\pm 10\%$ UR e 12 horas de fotofase. A cada três dias eram contabilizados o número de indivíduos vivos e mortos. Esse procedimento foi repetido até a morte do último inseto.

2.6. Resposta sobre o caminhamento dos adultos de *L. serricorne*

Os bioensaios de resposta comportamental foram realizados em arenas de vidro (6x6 cm), nas quais metade foi pulverizada com componentes majoritários e suas misturas a 1% dissolvido em acetona, com o auxílio de um aerógrafo. Enquanto uma metade estava coberta com uma chapa de plástico do tipo pvc rígida para evitar contaminação da outra metade, essa outra

metade, usada como controle, foi pulverizada com acetona, seguindo os mesmos parâmetros da pulverização anterior. Após as arenas serem pulverizadas foram deixadas por 15 minutos para secarem à temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $50\pm 10\%$. Os adultos de *L. serricorne* foram aclimatados por um período de 12 horas à temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $50\pm 10\%$. Após os períodos de aclimação e secagem das arenas, foi liberado um adulto de *L. serricorne* no centro da arena e mantido por 10 minutos. Para evitar a fuga dos insetos, as bordas das arenas foram revestidas com fita dupla face. Foram utilizados 30 insetos para cada tratamento, sendo cada inseto uma repetição. A atividade de caminhada na arena foi gravada usando câmera de vídeo digital de 4K de resolução Full HD Motorola em um suporte de cano de PVC. Foi utilizado o software Vídeo Tox Trac para rastreamento dos insetos na arena (RODRIGUEZ et al., 2018). Através do software Vídeo Tox Trac foi contabilizada a distância percorrida e o tempo gasto sem movimento pelos insetos na área tratada e não tratada da arena. Os insetos que passaram $<1\text{s}$ na metade da arena tratada com inseticida foram considerados repelidos, enquanto aqueles que passaram $<50\%$ do tempo na superfície tratada com inseticida foram considerados irritados (PLATA-RUEDA et al., 2019).

2.7. Análise dos dados

Para os ensaios de toxicidade aguda por fumigação e efeito sobre a emergência foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p\leq 0,05$). Para análise dos dados de sobrevivência foram usados estimadores de Kaplan-Meier (teste de log-rank). Os adultos de *L. serricorne* que não sobreviveram até o final do experimento foram tratados como dados censurados. Os dados de resposta sobre o caminhar foram submetidos à análise de variância unidirecional (ANOVA), com médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p\leq 0,05$). Os dados de toxicidade aguda, efeito sobre a emergência, análise de sobrevivência e resposta sobre o comportamento foram analisados usando o programa R Development Core Team (2010).

3. RESULTADOS

3.1. Toxicidade aguda por fumigação sobre adultos de *L. serricorne*

A toxicidade aguda dos componentes majoritários e suas misturas contra adultos de *L. serricorne* é apresentada na Figura 9. Dos componentes majoritários avaliados, o eucaliptol e o terpineol apresentaram 65% de mortalidade ($F_{23, 72}=102,70$; $P < 0.001$) na dose mais alta aplicada ($10\mu\text{l/mL}$). Os demais componentes (timol, cânfora, canfeno, limoneno, eugenol e β -pineno) exibiram entre 10 e 25% de mortalidade ($F_{23, 72}=102,70$; $P < 0.001$). Com relação às misturas (Fig.1), terpineol+eucaliptol e cânfora+timol apresentaram 47 e 52% ($F_{23, 72}=102,70$; $P < 0.001$) de mortalidade, respectivamente, enquanto as demais proporcionaram entre 10 e 25% de mortalidade ($F_{23, 72}=102,70$; $P < 0.001$).

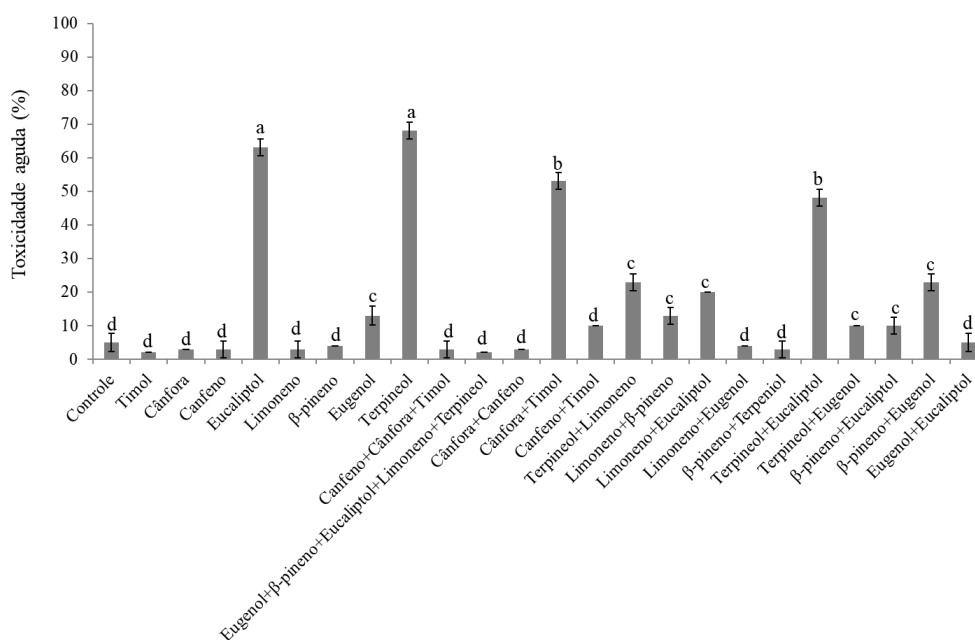


Figura 9: Porcentagem de adultos mortos de *L. serricorne* à temperatura de $34\pm 1^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotofase de 12h, por componentes majoritários e suas misturas; letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

3.2. Efeito sobre emergência de adultos de *L. serricorne*

Para o efeito sobre a emergência de adultos de *L. serricorne* (Fig.10), a mistura de terpineol+limoneno apresentou menor emergência de *L. serricorne* 4% ($F_{23, 48}=852,18$; $P < 0.001$), seguido pela mistura de canfeno+timol que exibiu 10% ($F_{23, 48}=852,18$; $P < 0.001$). As outras 13 misturas proporcionaram

emergência de *L. serricorne* entre 30 a 50% ($F_{23, 48}=852,18$; $P <0.001$). Os componentes majoritários avaliados separadamente permitiram as menores porcentagens de emergência, o eugenol e eucaliptol apresentaram 16 e 20% ($F_{23,48}=852,18$; $P <0.001$) de emergência de *L. serricorne* respectivamente. Já os insetos expostos aos componentes β -pineno e terpineol exibiram emergência superior à testemunha, 64% ($F_{23, 48}=852,18$; $P <0.001$).

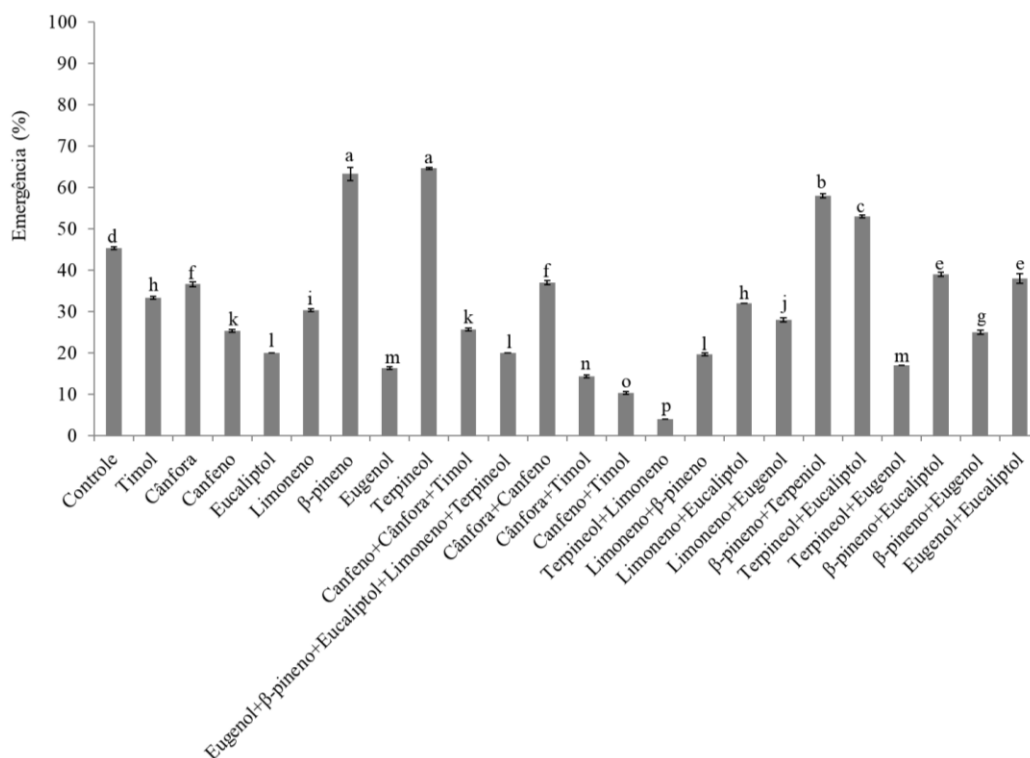


Figura 10: Porcentagem emergência de *L. serricorne* à temperatura de $34\pm 1^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotofase de 12h, por componentes majoritários e suas misturas; letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

3.2.1. Análise de sobrevivência dos adultos de *L. serricorne*

A análise de sobrevivência de adultos de *L. serricorne* expostos aos componentes majoritários e suas misturas indicou diferenças significativas entre os tratamentos (teste log-rank; $\chi^2 = 296$; $df = 23$; $P <0,001$). Os componentes majoritários eucaliptol, eugenol e terpineol proporcionaram menor tempo médio de sobrevivência (dois dias), seguidos das misturas β -pineno+terpeniol, limoneno+eugenol, limoneno+ β -pineno e cânfora+canfeno (Fig.11).

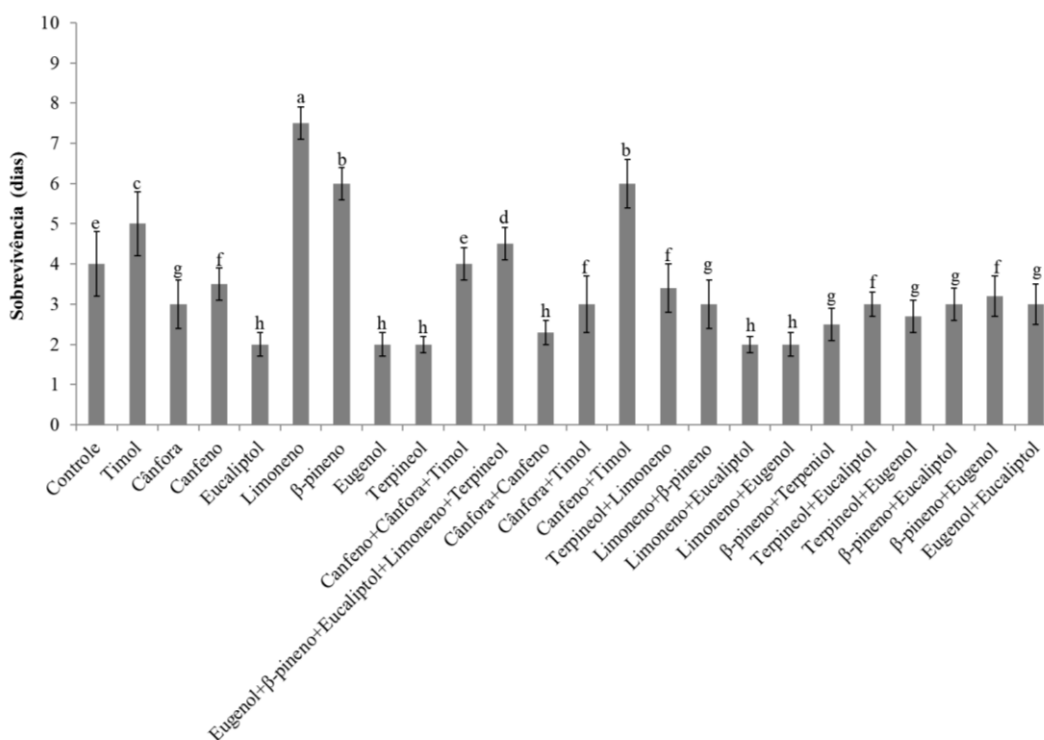


Figura 11: Análise de sobrevivência de *L. serricorne* à temperatura de $34 \pm 1^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12h, dos componentes majoritários e de suas misturas; letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

3.3. Resposta sobre o caminhamento dos adultos de *L. serricorne*

As respostas comportamentais dos adultos dos *L. serricorne* estão expressas na Figura 12 e na Figura 13. A distância percorrida foi maior no componente majoritário β-pineno 512 cm ($F_{23, 696} = 14,46$; $P < 0.001$), seguido pelas misturas limoneno+eucaliptol e limoneno+β-pineno, que apresentaram a distância percorrida entre 515 a 520 cm ($F_{23, 696} = 14,46$; $P < 0.001$), respectivamente. No entanto, a menor distância percorrida foi na mistura eucaliptol+eugenol: 81 cm ($F_{23, 696} = 14,46$; $P < 0.001$) (Fig.12).

Para o tempo em que os insetos ficaram sem movimento, os componentes majoritários eucaliptol, limoneno, β-pineno e cânfora apresentaram maiores valores, entre 8 e 10 segundos ($F_{23,696} = 6,74$; $P < 0.001$), seguidos pelas misturas limoneno+eucaliptol, limoneno+terpineol, limoneno+β-pineno, limoneno+eugenol e terpineol+β-pineno. No entanto, o componente majoritário eugenol e as misturas β-pineno+eucaliptol, β-pineno+eugenol, eucaliptol+eugenol, canfeno+cânfora+timol apresentaram o menor tempo sem movimento: seis segundos ($F_{23, 696} = 6,74$; $P < 0.001$) (Fig.13).

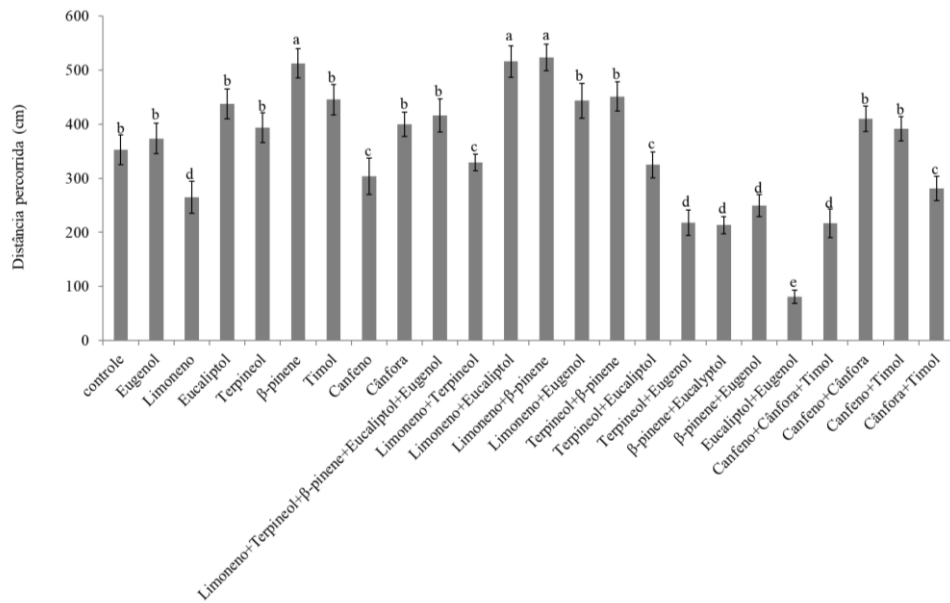


Figura 12: Resposta comportamental em distância percorrida nas arenas (cm) de *L. serricorne* à temperatura de $25\pm 1^\circ\text{C}$, umidade relativa de $50\pm 10\%$, dos compostos majoritários e das misturas; letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

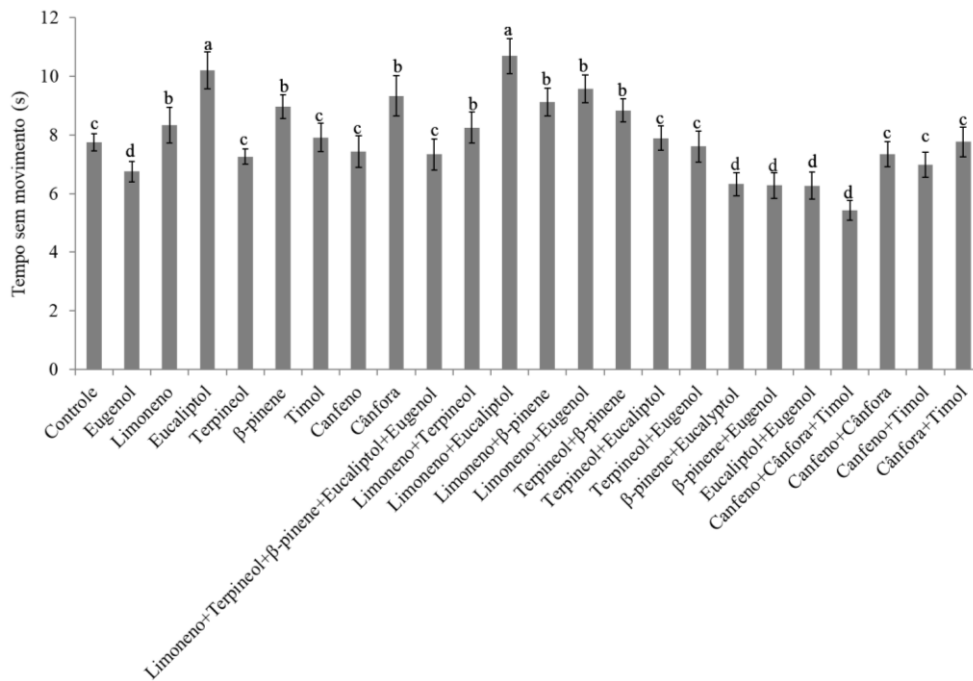


Figura 13: Resposta comportamental de tempo sem movimento nas arenas (s) de *L. serricornis* à temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $50\pm 10\%$, dos compostos majoritários e das misturas; letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

4. DISCUSSÃO

Os componentes majoritários de óleos essenciais podem causar a mortalidade de insetos, como comprovado no presente estudo, em que na dosagem economicamente viável avaliada promoveu até 60% de mortalidade em adultos de *L. serricornis*, entre os quais, o eucaliptol e terpineol e as misturas terpineol+eucaliptol e cânfora+timol foram as mais promissoras. Esses componentes são monoterpenos, que desempenham uma função de lipofílica, que pode se ligar ao fluido traquiolar, inibindo enzimas ou desativando proteínas nas células (PAVELA, 2015). Chopa e Descamps (2012) e Kiran e Prakash (2015) sugerem que a toxicidade aguda de pragas de grãos armazenados por óleos essenciais e compostos majoritários está associada às respostas bioquímicas, fisiológicas e por diferenças morfológicas (espessura da cutícula), portanto apresentam contração e paralisia muscular, efeito tóxico no sistema nervoso. Zhao et al. (2013) e Prowse et al. (2006) relatam que óleos essenciais e componentes majoritários apresentaram efeitos neurotóxicos em

enzimas de *Delia radium* L., *Musca Domestica* L., *Cacopsylla chinensis* and *Diaphorinacitri kuwayama*, todos os insetos exibiram hiperextensão das pernas, hiperatividade e imobilização.

As enzimas (SOD= Superóxido dismutase, CAT= Catalase, GSH= Glutathione e GSSG= Glutathione dissulfeto) estão presentes em todos os organismos aeróbicos, responsáveis pelo sistema antioxidante que fornece a defesa primária contra o estresse oxidativo que altera os processos fisiológicos normais dos insetos (FONTAGNE&DICHARRY et al., 2014). Os compostos presentes nos óleos essenciais podem alterar a produção dessas enzimas, modificando o processo biológico, tempo de vida dos insetos e porcentagem de insetos que irão emergir (ASLANTURK et al., 2011). Outra enzima importante é a acetilcolinesterase (AChE), que é um neurotransmissor excitatório, pode ser reduzida ou até mesmo bloqueada pelos componentes dos óleos essenciais, portanto pode matar os insetos por impedimento da passagem do impulso nervoso, podendo também gerar outras complicações fisiológicas, diminuir o tempo de sobrevivência e alterar a taxa de emergência de insetos (QIN et al., 2010).

Com relação aos efeitos sobre a emergência de adultos de *L. serricorne*, destaca-se o efeito sobre a redução da sobrevivência e emergência. Estudos mostraram que os componentes majoritários de óleos essenciais têm ação neurotóxica, que podem desencadear efeitos na fisiologia dos insetos, reduzindo a capacidade de sobrevivência e a porcentagem de emergência. Contudo, os óleos essenciais e seus componentes majoritários são relatados como antagonistas de vários neurotransmissores e neuromoduladores em insetos como acetilcolina, GABA (Ácido gama-aminobutírico), octopamina e tiramina (ENAN, 2005; PARK et al. 2001; TONG; COATS, 2012), afetando múltiplas atividades biológicas nos insetos, reprodução, longevidade, liberação de feromônio (Haddi et al. 2015).

A resposta sobre o caminhar de *L. serricorne* evidenciou que os componentes majoritários e as misturas apresentaram resultados promissores para o controle dessa praga. Ações de repelência de insetos estão relacionadas à detecção de substâncias pelas sensilas olfativas presentes nas antenas; como resposta, o inseto desencadeia o comportamento de escape (OLIVEIRA et al., 2018; MISSBACH et al., 2014). Essas alterações no

comportamento dos insetos ocorrem como resultado da ação de compostos tóxicos no sistema nervoso, que estimulam ou reduzem a mobilidade dos insetos (PLATA-RUEDA et al., 2019). Também pode ocorrer efeito contrário: a substância pode atrair os insetos. Oliveira et al. (2018) demonstraram que p-cymene atraiu adultos de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae). O presente trabalho mostrou que o timol, β -pineno, limoneno+eucaliptol e limoneno+ β -pineno também atraíram os adultos de *L. serricorne*. No entanto, no mesmo trabalho de Oliveira et al. (2018) o componente majoritário timol atuou como repelente de adultos de *S. zeamais*.

As respostas sobre o caminhamento podem ser influenciadas pelo modo de ação e pela extensão dos efeitos das doses letais e subletais (HOY et al., 1998; LIU; TRUMBLE, 2004). Muitos fatores podem afetar o comportamento dos insetos, qualidade do fragmento de recurso, tipo de habitat, interações específicas e presença de toxinas, entre outros (HOY et al., 1998; BOWLER; BENTON, 2005). As toxinas também podem levar os insetos ao comportamento de evitar ou passar menos tempo em áreas com altas concentrações (Hoy et al., 1998). Esses efeitos podem ser causados pelos mecanismos e ações dos óleos essenciais ou seus componentes majoritários, nos quais as ações fisiológicas demonstraram estar relacionadas à capacidade de perturbação do neurotransmissor GABA, bem como à inibição da enzima acetilcolinesterase do sistema nervoso dos insetos (CORREA et al. al., 2015).

5. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que os componentes majoritários e suas misturas causaram mortalidade, reduziram o tempo de sobrevivência e produção de progênes, além de alterarem a atividade comportamental dos adultos de *L. serricorne*. Portanto, esses produtos são promissores a serem usados para elaboração de novos inseticidas, auxiliando no controle desse inseto nas unidades de armazenamento de alimentos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pragas *S. zeamais* e *L. serricorne* causam danos econômicos significativos, isso promove perdas quantitativas e qualitativas. Em geral, o controle das pragas de grãos armazenados é realizado por inseticidas químicos sintéticos, de forma preventiva utilizando deltametrina, bifentrina e lambda-cialotrina e, de forma curativa, com a fosfina. Contudo, existem poucas moléculas para o controle de pragas de grãos armazenados; a busca por novas moléculas com características ambientais mais adequadas seria o mais interessante, por diminuir a seleção de insetos resistentes, poluição ambiental e os efeitos negativos sobre os organismos não alvos e a saúde humana. O presente trabalho buscou testar novos produtos para o controle de *S. zeamais* e *L. serricorne*.

A partir dos resultados apresentados neste estudo, os componentes majoritários de alguns óleos essenciais e suas misturas mostraram-se promissores para o controle de *S. zeamais* e *L. serricorne*. Entretanto, precisa-se fazer mais estudos com esses produtos, tais como: avaliar toxicidade em organismo não alvo, testar em ambiente de armazenamento de grãos e avaliar potencialidade desses produtos em selecionar populações resistentes.

7. REFERÊNCIAS

- ASHWORTH, J.R. The biology of *Lasioderma serricorne*. **J. Stored Prod. Res.** 29, 291–303, 1993.
- ASLAN, İ., OZBEK, H., ÇALMAŞUR, O., ŞAHİN, F. Toxicity of essential oil vapours to two greenhouse pests, *Tetranychus urticae* Koch and *Bemisia tabaci* Genn. **Indian Crop Prod.** 19, 167–173, 2004.
- ASLANTURK, A., KALENDER, S., UZUNHISARCIKLI, M., KALENDER, Y. Effects of methidathion on antioxidant enzyme activities and malondialdehyde level in midgut tissues of *Lymantria dispar* (lepidoptera) larvae. **J. Entomol. Res. Soc.** 13, 27–38, 2011.
- BACHROUCH, O., JEMAA, J.M.B., TALOU, T., MARZOUK, B., ABDERRABA, M. Fumigant toxicity of *Pistacia lentiscus* essential oil against *Tribolium castaneum* and *Lasioderma serricorne*. **Bull. Insectol.** 63, 129–135, 2010.
- BOWLER, D.E., BENTON, T.G. Causes and consequences of animal dispersal strategies: relating individual behaviour to spatial dynamics. **Biol. Rev.** 80, 205–222, 2005.

CORREA, Y.D.C.G., FARONI, L.R.A., HADDI, K., OLIVEIRA, E.E., PEREIRA, E.J.G., NOV. Locomotory and physiological responses induced by clove and cinnamon essential oils in the maize weevil *Sitophilus zeamais*. **Pestic. Biochem. Physiol.** 125, 31–37, 2015.

ENAN, E. Molecular response of *Drosophila melanogaster* tyramine receptor cascade to plant essential oils. **Insect Biochem Mol Biol.** 309–321, 2005.

ERDEMIR, T., ERLER F. Repellent, oviposition-deterrent and egg hatching inhibitory effects of some plant essential oils against *Citrus mealybug*, *Planococcus citri* Risso (Hemiptera: Pseudococcidae). **J Plant Dis Prot.** 473–479, 2017.

FONTAGNEÂ-DICHARRY, S., LATAILLADE, E., SURGET, A., LARROQUET, L., CLUZEAUD, M., KAUSHIK, S. Antioxidant defense system is altered by dietary oxidized lipid in first-feeding rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, 425, 220–227, 2014.

HOY, C.W., HEAD, G.P., HALL, F.R. Spatial heterogeneity and insect adaptation to toxins. **Annu. Rev. Entomol.** 43, 571–594, 1998.

HOWE R.W. A laboratory study of the cigarette beetle, *Lasioderma serricornis* (F.) (Cal., Anobiidae) with a critical review of the literature on its biology. **Bull. ent. Res.** 48, 9-56, 1957.

JONES, C.R. The cigarette beetle (*Lasioderma serricornis* Fabr.) in the Philippine Islands. **Phillipine J. Sci.** 8, p. 1-61, 1913.

KIM, S., PARK, C., OHH, M.H., CHO, H.C., AHN, Y.J. Contact and fumigant activity of aromatic plant extracts and essential oils against *Lasioderma serricornis* (Coleoptera: Anobiidae). **J. Stored Prod. Res.** 39, 11–19, 2003.

LIU, D., TRUMBLE, J.T. Tomato Psyllid behavioral responses to tomato plant lines and interactions of plant lines with insecticides. **J. Econ. Entomol.** 97, 1078–1085, 2004.

LORINI, I., KRZYZANOWSKI, F.C., FRANÇA-NETO, J. B., HENNING, A. A., HENNING, F. A. **Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 81 p.

LORINI, I., KRZYZANOWSKI, F.C., FRANÇA-NETO, J. B., HENNING, A. A. **Principais pragas e métodos de controle em sementes durante o armazenamento** – Série Sementes. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 12 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 73).

MARTINS, G. S. O., ZAGO, H. B., COSTA, A. V., JUNIOR, L. M. A., CARVALHO, J. R. Chemical Composition and Toxicity of *Citrus* Essential Oils on *Dysmicoccus brevipes* (Hemiptera: Pseudococcidae). **Rev. Caatinga. Mossoró**, 811 – 817, 2017.

MISSBACH, C., DWECK, H.K., VOGEL, H., VILCINSKAS, A., STENSMYR, M.C., HANSSON, B.S., GROSSE-WILDE, E. Evolution of insect olfactory receptors. **eLife**, 3, 1–22, 2014.

OLIVEIRA, A.P., SANTOS, A.A, SANTANA, A.S., LIMA, A.P.S., MELO, C.R., SANTANA, E. D.R., SAMPAIO, T.S., BLANKA, A.F., ARAÚJO, A.P.A., CRISTALDO, P.F., BACCIA, L. Essential oil of *Lippia sidoides* and its major compound thymol: Toxicity and walking response of populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Crop Protection**, 112, 33–38, 2018.

PARK, T.J., SEO, H.K., KANG, B.J., KIM, K.T. Noncompetitive inhibition by camphor of nicotinic acetylcholine receptors. **Biochem Pharmacol.** 787–793, 2001.

PAVELA, R. Acute toxicity and synergistic and antagonistic effects of the aromatic compounds of some essential oils against *Culex quinquefasciatus* say larvae, **Parasitol. Res.** 114, 3853–388, 2015.

PEREIRA, P.R.V.S., ALMEIDA, L.M. Chaves para identificação dos principais Coleoptera (Insecta) 920 associados com produtos armazenados. **Rev. Bras. Zool.** 18:271–283, 2001.

PHILLIPS, T.W., THRONE, J.E. Bioragional approaches to managing stored-product insects. **Annu. Rev. Entomol.** 55, 375–397, 2010.

PLATA-RUEDA, A., MARTÍNEZ, L.C., SILVA, B.K.R., ZANUNCIO, J.C., FERNANDES, M.E.S., NARCISO, R.C.G., FERNANDESA, F.L. Exposure to cyantraniliprole causes mortality and disturbs behavioral and respiratory responses in the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). **Pest Manag Sci.** 75, 2236–2241, 2019.

QIN, W., HUANG, S., LI, C., CHAN, S., PENG, Z. Biological activity of the essential oil from the leaves of *Piper sarmentosum* Roxb. (Piperaceae) and its chemical constituents on *Brontis palongissima* (Gestro) (Coleoptera: Hispididae). **Pestic. Biochem. Phys.** 96,132–139, 2010.

R DEVELOPMENT CORE TEAM R. A language and environment for statistical computing, reference index version 2.12.1. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0, 2010.

RAJENDRAN, S., NARASIMHAN, K.S. Phosphine resistance in the cigarette beetle *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) and overcoming control failures during fumigation of stored tobacco. **Int. J. Pest Manag.** 40, 207–210, 1994.

RAJKUMAR, V., GUNASEKARAN, CH., CHRISTY, I. K., DHARMARAJ, J., CHINNARAJ, P., PAUL, CH. A. Toxicity, antifeedant and biochemical efficacy of *Mentha piperita* L. essential oil and their major constituents against stored grain pest. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, 156, 138–144, 2019.

RODRIGUEZ, A., ZHANG, H., KLAMINDER, J., BRODIN, T., ANDERSSON, P. L., ANDERSSON, M. ToxTrac: a fast and robust software for tracking organisms. **Methods in Ecology and Evolution**. 3, 460–464, 2018.

SANTOS, J.C., FARONI, L.R.A., SOUSA, A.H., GUEDES, R.N.C. Fumigant toxicity of allyl isothiocyanate to populations of the red flour beetle *Tribolium castaneum*. **J. Stored Prod. Res.** 47, 238–243, 2011.

TITOUHI, F., AMRI, M., MESSAOUD, C., HAOUEL, S., YOUSSEFI, S., CHERIF, A., MADIOUNI BEN JEMAA, J. Protective effects of three *Artemisia* essential oils against *Callosobruchus maculatus* and *Bruchus rufimanus* (Coleoptera: Chrysomelidae) and the extended side-effects on their natural enemies. **J. Stored Prod. Res.** 72, 11–20, 2017.

TONG, F., COATS, J.R. Quantitative structure-activity relationships of monoterpenoid binding activities to the housefly GABA receptor. **Pest Manag Sci.** 1122–1129, 2012.

WHITE, N.D.G., LEESCH, J.G. **Integrated Management of Insects in Stored Products**; Marcel Dekker Inc.: New York, NY, USA, 1995.