

RENILSON PESSOA MORATO

ASPECTOS COMPORTAMENTAIS DE *Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY (1855)
SUBMETIDOS AO ÓLEO ESSENCIAL DE *Croton pulegiodorus* BAILL

Serra Talhada-PE

2019

**M
O
R
A
T
O

R
P

A
S
P
E
C
T
O
S

C
O
M
P
O
T
A
M
E
N
T
A
I
S
·
·
·
2
0
1
9**

RENILSON PESSOA MORATO

ASPECTOS COMPORTAMENTAIS DE *Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY (1855)
SUBMETIDOS AO ÓLEO ESSENCIAL DE *Croton pulegioidorus* BAILL

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Cláudia Helena Cysneiros Matos de Oliveira

Serra Talhada-PE

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca da UAST, Serra Talhada-PE, Brasil

M831a Morato, Renilson Pessoa

Aspectos comportamentais de *sitophilus zeamais* *motschulsky* (1855) submetidos ao óleo essencial de *croton pulegioidorus* baill / Renilson Pessoa Morato. - Serra Talhada, 2019.

66 f. : il.

Orientadora: Cláudia Helena Cysneiros Matos de Oliveira

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 2019.

Inclui referências.

1. Pragas - Controle. 2. Entomologia. 3. Pesticidas. I. Oliveira, Cláudia Helena Cysneiros Matos de, orient. II. Título.

CDD

RENILSON PESSOA MORATO

ASPECTOS COMPORTAMENTAIS DE *Sitophilus zeamais* MOTSCHULSKY (1855)
SUBMETIDOS A ÓLEO ESSENCIAL DE *Croton pulegiodorus* BAILL

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADA em ____/____/____.

Banca Examinadora

Prof^ª. Dr^ª. Cláudia Helena Cysneiros Matos de Oliveira – UAST/UFRPE
Orientadora

Professor Dr. Carlos Romero Ferreira de Oliveira
UFRPE/UAST

Professor Dr. Sérgio Luiz Ferreira da Silva
UFRPE/UAST

Professor Dr. César Auguste Badji
UFRPE/UAG

Aos meus pais, Dona Rosa e Seu Leci, pelo apoio incondicional e por todos os ensinamentos. Ao meu avô, João Francisco Morato (*in Memoriam*) e a minha Tia Josefa (*in Memoriam*).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus por toda força, fé e discernimento a mim concedido, ao longo dessa caminhada, para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Dona Rosa e Seu Leci, por terem sido fonte de inspiração diária e pilares em minha vida, onde todo esforço dispensado representa uma pequena parte de tudo que eles fizeram em minha vida. Todo e qualquer esforço é uma simples forma de agradecer por tudo que vocês representam para mim. Meu eterno amor à vocês.

Aos meus irmãos, Renato, Rosana e Ruberlândia por sempre estarem ao meu lado, tantos nos momentos de alegria como nos momentos difíceis. À vocês, todo minha gratidão.

Aos meus familiares pelo apoio e compreensão pelas minhas ausências em grande parte do tempo.

A minha orientadora, Professora Dra. Cláudia Helena Cysneiros Matos de Oliveira, pela orientação e todos ensinamentos durante todo desenvolvimento da pesquisa.

Ao Professor Dr. Carlos Romero Ferreira de Oliveira pelo auxílio durante a pesquisa e ensinamentos essenciais para elaboração deste trabalho.

Ao Professor Dr. Sergio Luiz Ferreira da Silva pelo tempo dispensado em ensinamentos e práticas primordiais para a composição dos conhecimentos técnicos necessários para a pesquisa.

Às Pérolas que a vida me trouxe de presente no início da Pós-Graduação. Meus Amigos-Irmãos: Juracy Barroso Neto pelo companheirismo, ensinamentos e apoio incondicional durante esses anos; José Ralison Inácio da Silva, um amigo de um coração enorme, pelo apoio nos momentos mais difíceis, pelas conversas diárias e por tudo que me ensinou; George do Nascimento Araújo Júnior pela pessoa extraordinária que é, pela convivência diária, ensinamentos e todo apoio durante essa estrada; Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim pela pessoa maravilhosa que você é, por todos os ensinamentos, pelas melhores histórias nas horas do café e por todo apoio em qualquer momento. A vocês minha eterna gratidão por serem a minha família fora de casa durante esses anos de convivência. As flores da nossa equipe: Maria Aparecida dos Santos Morais, Andréa dos Santos Oliveira, Elizangela Nunes de Oliveira, Naiara Albuquerque de Matos pela convivência, apoio nos momentos difíceis e pelo prazer de ter dividido meus dias com vocês. Os levarei no coração para sempre. Obrigado por tudo.

Aos meus amigos, Laamon Simões e Lypson Simões, pela amizade adquirida durante nossa convivência diária, por todo o apoio. Carregos vocês no coração e estaremos sempre juntos.

Aos amigos do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal: Cinara Wanderlea, Marcondes, Mirna Clarissa, Clea Medeiros, Janaina Renata, Marcela Albuquerque, Franquielle Ribeiro pela convivência diária e apoio mútuo. Sem sombra de dúvidas, vocês tornaram essa travessia muito mais prazerosa e facilitaram a superação dos obstáculos.

A amiga Dra. Kelem Fonseca, pela amizade sincera, todos os aconselhamentos nos momentos mais difíceis e pelos diversos momentos de busca por novos conhecimentos.

A minha amiga-irmã Aninha, por sua presença sempre, por ser amiga, irmã, por ser luz e anjo desde que entrou em minha vida.

A minha amiga Maria Gabriela pelo convívio, conversas motivadoras e disponibilidade em me ajudar, sempre que precisei.

Ao meu amigo José Neto, que pelo pouco tempo de convivência se tornou importante, principalmente por estar presente em momentos importantes e difíceis.

Ao meu amigo e ex-secretário do PGPV Arnaldo Nogueira por todo apoio durante sua estada no Programa e pela amizade sincera. Estará sempre presente nas minhas melhores lembranças.

Aos amigos Allan, Thalyta e Dona Luci, pessoas especiais que a vida me apresentou durante o Mestrado.

A CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado durante a pesquisa e pelo auxílio financeiro ao Programa de Pós-graduação.

A FACEPE e CNPq pela concessão de materiais utilizadas nas atividades de pesquisa.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada pelo acolhimento e fornecimento da estrutura necessária para o desenvolvimento de todo o projeto de pesquisa.

A Unidade Acadêmica de Garanhuns – UAG, na pessoa do Professor Dr. César Auguste Badji, pela disponibilidade das dependências do Laboratório de Entomologia bem como a utilização de equipamentos primordiais para o desenvolvimento de toda pesquisa.

Aos amigos José Gomes e Tiago, pelo receptividade, acolhimento e ajuda durante minha estada em Garanhuns, além dos membros que compõem o Laboratório de Entomologia.

A Pós-graduação em Produção Vegetal pela estrutura e fornecimento de equipamentos utilizados em diversas etapas da pesquisa, bem como ao corpo Docente pelos conhecimentos repassados e disponibilidade para os esclarecimentos de dúvidas em momentos diversos.

Ao Núcleo de Ecologia de Artrópodes – NEA pela disponibilidade da estrutura física para manutenção das criações dos insetos e pelos equipamentos utilizados no projeto.

Aos meus amigos do NEA, principalmente a Grupo de óleos essenciais e grãos armazenados pela ajuda no transcorrer das atividades relacionadas ao projeto de pesquisa.

Aos funcionários da UAST, em especial a Iago Pereira, por todo suporte técnico e auxílio em questões de cunho administrativo.

“Here we are - despite the delays, the confusion,
and the shadows en route - at last, or for the
moment, where we always intended to be.”

Julia Glass

RESUMO GERAL

MORATO, Renilson Pessoa. Aspectos comportamentais de *Sitophilus zeamais* motschulsky (1855) submetidos a óleo essencial de *Croton pulegiodorus* Baill. 2019. 66 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE-UAST), Serra Talhada-PE). Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Helena Cysneiros Matos Oliveira.

Dentre as pragas que atacam o milho, destaca-se o gorgulho-do-milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, que é responsável por perdas econômicas significativas aos grãos armazenados. Devido aos impactos causados pelo uso de inseticidas sintéticos, principal método de controle desta praga, alternativas vêm sendo estudadas, como a utilização de compostos de origem botânica, com destaque para os óleos essenciais. A espécie vegetal *Croton pulegiodorus* Baill (Euphorbiaceae) produz óleo essencial que apresenta potencial inseticida. Nesse sentido, o presente estudo visou avaliar alterações comportamentais de populações de *S. zeamais* submetidas às concentrações letais (CL₅₀ e CL₉₀ estimadas para cada população) do óleo essencial de *C. pulegiodorus*. Foram utilizadas populações de *S. zeamais* oriundas de diferentes localidades e que apresentam diferentes graus de resistência a inseticidas piretróides e ao óleo essencial de *C. pulegiodorus*. Placas de Petri com 9 cm de diâmetro foram usadas como arenas, onde foram adicionados discos de papel filtro impregnados com a concentração de óleo essencial referente a CL₅₀ e CL₉₀ ou água destilada (Controle). Um adulto de *S. zeamais* foi adicionado a placa de Petri, sendo o seu comportamento gravado por dez minutos através do sistema ViewPoint tracking®. Os parâmetros comportamentais distância total de caminamento (DTC), tempo total de caminamento (TTC), velocidade média de caminamento (VMC), número de paradas (NP) e resistência ao deslocamento (RD) foram avaliados. Todos parâmetros analisados apresentaram diferença significativa. Observou-se que o controle referente à Serra Talhada – PE apresentou a maior DTC (410,13 cm), enquanto a controle da população de Lajedo – PE apresentou o menor DTC dentre os tratamentos estudados (142,53 cm). Em relação ao TTC, o tratamento CL₉₀ das populações Jacarezinho – PR e Bom Conselho – PE, CL₅₀ referente a Bom Conselho – PE e o controle da população de Sete Lagoas – MG apresentaram os maiores TTC dentre os tratamentos analisados (441,92 s, 448,98 s, 427,33 s e 433,17 s, respectivamente). Não obstante a população de Lajedo – PE exposta à CL₅₀ e o controle referente a população de São João – PE apresentaram os menores TTC entre os tratamentos (224,67 s e 236,65 s, respectivamente). A população de Serra Talhada – PE apresentou as maiores VMC quando exposta ao controle e a CL₉₀ (0,88 cm s⁻¹ e 0,86 cm s⁻¹), sendo a população de São João – PE a que obteve a menor VMC quando exposta ao controle

(0,49 cm s⁻¹). O tratamento CL₅₀ de Garanhuns – PE e CL₉₀ de São João apresentaram os maiores NP (977,27 paradas e 891,47 paradas, respectivamente) em contraponto ao controle referente a população de Jupi – PE que apresentou o menor NP (285,69 paradas). No que tange a RD, o tratamento CL₅₀ pertencente a população de Lajedo – PE apresentou maior resistência ao realizar seu deslocamento (7,93 vezes); por outro lado, o controle da população de São João – PE e a CL₅₀ de Serra Talhada – PE mostraram as menores RD (1,1 vezes e 0,98 vezes, respectivamente). Assim, a utilização do óleo essencial de *C. pulegiodorus* utilizado em doses letais, promove alterações comportamentais em populações de *S. zeamais* que apresentam diferentes níveis de resistência a inseticidas piretróides e ao óleo essencial.

Palavras-chave: Produtos armazenados; gorgulho-do-milho; comportamento; inseticidas botânicos.

GENERAL ABSTRACT

MORATO, Renilson Pessoa. Behavioral aspects of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (1855) subjected to essential oil of *Croton pulegioidorus* Baill. 2019. 66 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE-UAST), Serra Talhada-PE). Orientadora: Profa. Dra. Cláudia Helena Cysneiros Matos Oliveira.

Among pests that attack maize, maize weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) is an important species that is responsible for significant economic losses in stored grains. The use of synthetic insecticides is the main method to control this pest, however, alternatives such as the use of plant compounds, especially essential oils, have been studied due to the impacts caused by them. The essential oil of *Croton pulegioidorus* (Euphorbiaceae) plants has insecticide potential. Thus, the objective of this study was to evaluate changes in *S. zeamais* insects subjected to lethal concentrations of *C. pulegioidorus* essential oil. The *S. zeamais* populations evaluated were from different locations in Brazil and had different resistance levels to pyrethroid insecticides and to *C. pulegioidorus* essential oil. Petri dishes of 9 cm diameter were used as arenas; they were covered with filter paper impregnated with concentrations of the essential oil (LC₅₀ and LC₉₀) or distilled water (control). An adult *S. zeamais* was placed on the Petri dish and its behavior was recorded for ten minutes using a tracking system (ViewPoint®). The following behavioral parameters were evaluated: total distance walked (TDW), total time of walking (TTW), average walking velocity (AWV), number of stops (NS), and locomotion resistance (LR). All these parameters showed significant differences. The *S. zeamais* population from Serra Talhada (PE) in the control treatment had the greatest TDW (410.13 cm), and that from Lajedo (PE) in the control treatment had the lowest (142.53 cm). The population from Jacarezinho (PR) and Bom Conselho (PE) in the LC₉₀, that from Bom Conselho in the LC₅₀, and that from Sete Lagoas (MG) in the control treatment showed the highest TTW (441.92 s, 448.98 s, 427.33 s, and 433.17 s, respectively). The population from Lajedo in the LC₅₀, and that from São João (PE) in the control had the lowest TTW (224.67 s and 236.65 s, respectively). The population from Serra Talhada in the control (0.88 cm s⁻¹) and LC₉₀ (0.86 cm s⁻¹) treatments had the highest AWV; and that from São João in the control had the lowest AWV (0.49 cm s⁻¹). The population from Garanhuns (PE) in the LC₅₀, and that from São João in the LC₉₀ treatment had the highest NS (977.27 and 891.47, respectively), and that from Jupi (PE) in the control treatment had the lowest (285.69). The population from Lajedo in the LC₅₀ had the highest LR (7.93 times), and that from São João in the control (1.1 time), and that from Serra Talhada in the C₅₀ (0.98 times) treatment had the lowest. Therefore, the use of *C. pulegioidorus*

essential oil at lethal concentrations causes behavioral changes in *S. zeamais* populations that present different resistance levels to pyrethroid insecticides and *C. pulegioidorus* essential oil.

Keywords: Stored products; maize weevil; behavior; botanical insecticides.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1	Distância total de caminhada (DTC) de <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky provenientes de diferentes localidades expostas à diferentes concentrações do óleo essencial de <i>Croton pulegioidorus</i> Baill por 10 minutos em placas de Petri (9 cm Ø). Barras com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$).....	40
Figura 2	Tempo de caminhada (TTC) de <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky provenientes de diferentes localidades expostas à diferentes concentrações do óleo essencial de <i>Croton pulegioidorus</i> Baill por 10 minutos em placas de Petri (9 cm Ø). Barras com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$).....	41
Figura 3	Velocidade média de caminhada (VMC) de <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky expostos à diferentes concentrações do óleo essencial de <i>Croton pulegioidorus</i> Baill por 10 minutos em placas de Petri (9 cm Ø). Barras com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$).....	43
Figura 4	Número de paradas (NP) de <i>Sitophilus zeamais</i> de diferentes localidades expostas à concentrações do óleo essencial de <i>Croton pulegioidorus</i> Baill por 10 minutos em placas de Petri (9 cm Ø). Barras com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$).....	44
Figura 5	Resistência comportamental de <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky oriundas de diferentes populações expostos ao óleo essencial de <i>Croton pulegioidorus</i> Baill em placa de Petri (9 cm Ø). Barras com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$).....	46
Figura 6	Trilhas demonstrativas apresentando o comportamento de <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky oriundas de diferentes localidades expostas à concentrações do óleo essencial de <i>Croton pulegioidorus</i> em placa de Petri (9 cm Ø).....	48
Figura 7	Correlação de Pearson entre variáveis comportamentais (Distância total de caminhada – DTC; Tempo total de caminhada – TTC; Velocidade média de caminhada – VMC; Número de paradas – NP; Resistência comportamental – RC) em populações de <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky submetidas ao óleo essencial de <i>Croton pulegioidorus</i> Baill.	50

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela	Concentrações letais do óleo essencial de <i>Croton pulegiodorus</i> Baill para populações de <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky referentes a mortalidade de 50% e 90% da população (CL ₅₀ e CL ₉₀).	38
--------	--	----

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	13
CAPITULO I – REVISÃO DE LITERATURA	15
1.1. Manejo Integrado de Pragas (MIP)	15
1.2. <i>Sitophilus zeamais</i> Motschulsky, 1855	16
1.3. Controle químico de <i>S. zeamais</i>	17
1.4. Inseticidas Naturais.....	18
1.5. Óleos essenciais como inseticidas	19
1.6. Óleo essencial de <i>Croton</i> sp.	20
1.8. Atividade Enzimática e alterações comportamentais	21
Referências Bibliográficas.....	24
CAPÍTULO II – RESPOSTA COMPORTAMENTAL DE POPULAÇÕES DE <i>Sitophilus zeamais</i> Motchshulsky (1855) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) AO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Croton pulegioidorus</i>	30
RESUMO	30
1. Introdução.....	32
2. Metodologia.....	35
2.1. Insetos.....	35
2.2. Óleo essencial.....	35
2.3. Avaliação da resistência comportamental de <i>S. zeamais</i>	37
2.4 Análise estatística	38
3. Resultados.....	39
4. Discussão	51
5. Conclusões.....	55
Referências	56

APRESENTAÇÃO

O milho (*Zea mais* L., Poaceae) é um dos principais grãos produzidos no mundo devido a sua versatilidade de uso, tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal. Sua alta produção leva os produtores a utilizarem diferentes tipos de locais para armazenamento, o que por sua vez desencadeia um dos principais problemas advindos desta prática: o ataque de pragas. Associado ao milho armazenado, o gorgulho do milho, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (1855) (Coleoptera: Curculionidae), representa a principal praga desta cultura, causadora de danos qualitativos, através da redução da qualidade dos grãos após seu ataque, e quantitativo, devido a redução da massa dos grãos atacados. Essa praga encontra-se distribuída por todo o planeta e tem sucesso na sua distribuição devido a facilidade de reprodução e rápida disseminação dos indivíduos desta espécie. Além disso, esta espécie possui como característica a infestação cruzada, capacidade de atacar plantas no campo como também os grãos armazenados, tornando ainda mais importante o controle desta praga. Como forma de controle, a principal forma de manter a densidade populacional da praga em um nível capaz de não causar danos econômicos é através de inseticidas químicos sintéticos, principalmente aqueles pertencentes a classe dos organofosforados, piretróides e fumigantes. Porém, a preocupação com a utilização destas substâncias, devido a alta periculosidade tanto para quem as manuseia como para o ambiente em que são utilizadas, além do surgimento recorrente de indivíduos resistentes a tais compostos, reforça a necessidade de busca por novos métodos de controle para esta praga. Com esse entendimento, a utilização de produtos de origem natural como método de controle alternativo de pragas tem ganho cada vez mais espaço entre pesquisadores. Dentre os diversos produtos naturais, os óleos essenciais têm um papel de destaque, pela sua capacidade de atuar como bactericida, fungicida e, mais importante nesse caso, como inseticida. Os organismos vegetais produzem os óleos essenciais a partir do seu metabolismo secundário, lhes conferindo proteção contra o ataque de bactérias, fungos e contra herbivoria. A composição química dos óleos essenciais confere a estas substâncias diferentes formas de ação, onde em muito se assemelha a forma de atuação dos inseticidas químicos sintéticos. Dentre os grupos químicos que compõem os óleos essenciais, destacam-se aqueles que derivam do isopreno, como monoterpenos e sesquiterpenos, que representam grande parte dos compostos presentes. Os compostos pertencentes a estes grupos têm uma grande capacidade de atuar em diversos sistemas no inseto, causando efeitos fisiológicos danosos, seja pela atuação de um único composto ou pela atuação de diversos compostos de forma sinérgica. Um dos principais alvos dos monoterpenos e sesquiterpenos é o sistema nervoso dos insetos, onde através da interação

destes compostos com as moléculas presentes nessa região, uma série de modificações comportamentais são geradas, promovendo, em muitos casos, danos diversos ao inseto ou até mesmo sua morte. Os compostos presentes nos óleos essenciais interagem como moléculas importantes no sistema nervoso, como a enzima acetilcolinesterase, responsável pela degradação do neurotransmissor acetilcolina. Através da inibição desta enzima pelos compostos dos óleos essenciais, há um acúmulo do neurotransmissor, o que leva a uma hiperatividade do inseto, apresentando como único resultado provável a morte do inseto. Com isso, estudos que tem por objetivo compreender as alterações comportamentais ocasionada pela atuação dos óleos essenciais em insetos-praga, mostram-se importantes, principalmente como forma de identificação de métodos alternativos de controle de pragas, que produzam menos resíduos capazes de ocasionar danos ao ambiente em que são utilizados além de gerar menos indivíduos resistentes aos métodos de controle.

CAPITULO I – REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Manejo Integrado de Pragas (MIP)

O conceito do Manejo Integrado de Pragas (MIP), amplamente disseminado pelo mundo, surgiu na década de 1950, onde uma década depois consolidou-se a concepção adotada até os dias atuais, e é definido pelo uso integrado de diferentes ferramentas de controle, como o controle biológico, químico, variedades de plantas resistentes a pragas, manejo cultural, dentre outros, baseado em conceitos econômicos. Esse modelo de controle de pragas foi utilizado pela primeira vez por Smith e Van dan Bosh no ano de 1967. No Brasil, a implementação do MIP se deu no final da década de 1970, onde foram utilizadas técnicas baseadas no MIP para realizar o controle de pragas associadas ao algodão e ao tomate, com o intuito principal de reduzir os custos de produção, principalmente aqueles associados ao uso de defensivos químicos (ORR; LAHIRI, 2014).

Em um levantamento feito em 62 projetos que empregam o MIP, compreendendo 26 países industrializados e em desenvolvimento, que abrange 5,4 milhões de propriedades com uma área de 25,3 milhões de hectares, 60% dos projetos avaliados foram enquadrados na categoria cujos resultados mostram redução no uso de defensivos químicos associado a um aumento na produção. Além dos fatores destacados anteriormente, o relatório indica que, a partir da implementação do MIP, não ocorre apenas uma melhoria no manejo de pragas mas também em outras práticas agrônômicas, como uso mais eficiente da água, manejo do solo e de nutrientes, além do aspecto econômico representado pela economia obtida pela redução do uso de defensivos (PRETTY, 2008).

Uma das ferramentas utilizadas no MIP para proteção de culturas são os biopesticidas, que são substâncias produzidas em grande quantidade e que são sintetizados por um microrganismo vivo ou um produto natural, comercializado para o controle de pragas (CHANDLER et al., 2011). Os biopesticidas estão divididos em três categorias: pesticidas de origem microbiológica, vegetais e bioquímicos, onde aqueles de origem vegetal são produzidos naturalmente por plantas ou através da introdução de genes que levem a produção de substâncias que auxiliem no combate ou controle de pragas (GUPTA; DIKSHIT, 2010). Essas substâncias, de acordo com Environment Protection Agency (EPA), podem ser enquadradas como pesticidas seguros, uma vez que são pouco tóxicos para organismos que não são o alvo

primário, seus resíduos são menos persistentes no meio ambiente, além de que sua capacidade de contaminação do solo e dos lençóis freáticos é relativamente baixa quando comparada a pesticidas sintéticos. Porém, seu uso quando comparado ao uso total de pesticidas representa menos de 1% desse total (WALIA et al., 2017).

1.2. *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855

O inseto *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) é conhecido popularmente como gorgulho do milho e considerado uma das principais pragas associadas a grãos armazenados. Quanto ao hábito alimentar é considerado uma praga primária interna, pois ataca grãos intactos e utilizam seu interior para oviposição e para completar seu ciclo de vida. Além disso, infestam os grãos tanto no campo quanto nos locais destinados para o armazenamento, em um processo denominado de infestação cruzada (GALLO et al., 2002; ANTUNES; DIONELLO, 2010).

Os adultos de *S. zeamais* apresentam como características morfológicas um rostro longo e cabeça projetada para a frente. Sua coloração é marrom-escura com machas avermelhadas nos élitros, sendo estas mais destacadas após a emergência do adulto. Nessa fase, a fêmea utiliza sua mandíbula para abrir um orifício no grão onde será depositado um ovo, fechando-o com uma substância gelatinosa produzida por glândulas localizadas no aparelho ovipositor. Quando adultos, medem entre 2,0 e 3,5 mm de comprimento. No estágio de larva o desenvolvimento ocorre no interior do grão e inclui quatro ínstares até alcançar a fase de pupa. Após a emergência, o adulto deixa o interior do grão (EVANS, 1981; LORINE; SCHNEIDER, 1994; ANTUNES; DIONELLO, 2010, RITA DEVI et al., 2017).

O ataque de *S. zeamais* a grãos de milho ocasiona perdas significativas à produção. Santos e Oliveira (1991) relatam que, quando os danos alcançam 50% dos grãos, a redução no peso da massa de grãos alcança mais de 13%. Outro tipo de perda relacionada ao ataque de *S. zeamais* mostra que sementes onde são encontradas pupas ou adultos deste inseto apresentam uma redução 94% do poder germinativo (SANTOS et al., 1990). É possível verificar a relação direta entre as perdas ocasionadas pelo ataque de *S. zeamais* e o número de insetos na massa de grãos e o número de dias que os grãos foram atacados, chegando a serem computadas perdas de até 17% em relação ao peso inicial, no período de 120 dias (ANTUNES et al., 2011).

1.3. Controle químico de *S. zeamais*

O uso de inseticidas sintéticos compõe uma das formas mais populares para o controle de *S. zeamais*. Dentre os inseticidas utilizados, o dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) figurou entre os mais utilizados no controle do inseto-praga, no Brasil, até meados da década de 1980, quando ocorreu a suspensão do uso deste produto. Em substituição, passou-se a adotar organofosforados, como Malathion, para o controle da praga. A substituição do Malathion se deu por pirimifós-metil, deltametrina e permetrina (SANTOS et al., 1986; GUEDES, 1991; GUEDES et al., 1995; RIBEIRO et al., 2003)

Os inseticidas sintéticos utilizados no controle de pragas de produtos armazenados encontram-se divididos em dois grupos, cuja sua classificação leva em consideração o tipo de atuação e o efeito residual destes inseticidas, sendo estes designados como protetores, pois apresentam efeito residual e atuam na prevenção do aparecimento de insetos-praga, e os fumigantes, que não apresentam efeito residual e combatem a praga já previamente estabelecida (PIMENTEL, 2006). Dentre os protetores encontram-se os organofosforados, inseticidas que contêm em sua formulação fósforo, apresentando um modo de ação que consiste na fosforilação da enzima colinesterase de forma irreversível, e possui como representantes o Malation, Metil Paration e Diazinon, dentre outros; os piretróides, que são baseados no composto natural piretrina, composto esse encontrado naturalmente em *Chrysanthemum cinerariaefolium* Vis. (Asteraceae), tendo por característica serem bastante estáveis quando expostos a luz solar e efetivos mesmo quando usados em pequenas concentrações. Seu modo de ação é caracterizado pela toxicidade causada aos axônios, onde a manutenção do funcionamento dos canais de sódio presentes nos axônios do sistema nervoso central e periférico leva a produção sucessiva de impulsos nervosos, sendo a Permetrina um dos mais conhecidos representante dessa classe. Os fumigantes são moléculas orgânicas voláteis que atingem a fase de gás à uma temperatura aproximada de 40 °C, que são utilizadas comumente em grandes massas de materiais devido a sua capacidade de difusão. Para a utilização em grãos armazenados, o brometo de metila era amplamente utilizado até o estabelecimento do Protocolo de Montreal, sendo o gás fosfina (PH₃) atualmente o composto mais usado para o processo de fumigação ou expurgo. Seu modo de ação está associado a classe deste composto, um narcótico, que causa, nos insetos, perda de consciência e narcose (WARE; WHITACRE, 2000).

1.4. Inseticidas Naturais

Devido ao aumento da preocupação da população mundial com a utilização de inseticidas sintéticos, o uso de produtos que ocorrem naturalmente em plantas teve seu uso aumentado nos últimos anos, principalmente como inseticida. Os inseticidas naturais têm por características uma rápida degradação quando se encontram em contato com a luz do sol, com a umidade e com o ar, além do fato de serem degradados na presença de enzimas de desintoxicação. Devido a esse fato, a persistência dos inseticidas naturais no ambiente é significativamente diminuída quando comparada aos inseticidas sintéticos, o que reduz as chances de contaminação do meio e de atingir espécies que não são alvo do controle (ORR; LAHIRI, 2014).

A utilização de produtos obtidos a partir de plantas, como óleos essenciais constitui-se numa importante alternativa no controle de pragas, principalmente aquelas que são identificadas associadas a produtos armazenados (ISMAN, 2000). A capacidade inseticida de óleos essenciais contra pragas de produtos armazenados tem sido demonstrada por diversos estudos. O uso do óleo essencial de alho, *Allium sativum* L. (Alliaceae) apresentou eficiência quando testado sobre *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) e *S. zeamais* cuja mortalidade obtida foi superior a 80% dos insetos adultos em determinadas concentrações, além promover a inviabilidade dos ovos quando tratados com este óleo (HO et al., 1996). Testado sobre *T. castaneum* e *S. zeamais*, o óleo essencial de noz moscada, *Myristica fragrans* Houtt (Myristicaceae) ocasionou a mortalidade nos diferentes estágios do ciclo de vida dos insetos quando utilizado como inseticida pelas vias de contato e fumigação, inibindo a alimentação, quando expostos aos grãos tratados com esse óleo (HUANG et al., 1997).

Fazolin et al. (2007) testaram diferentes concentrações do óleo essencial de *Tanaecium nocturnum* (Barb.Rodr.) Bur. & K. Shum. (Bignoniaceae), e como resultados, as concentrações de 4 e 5% quando utilizada pelo método de fumigação, 2 e 5% para contato (papel filtro) e 8 e 10% para via exposição tópica apresentaram mortalidades que se aproximaram dos 100%, demonstrando o potencial inseticida do óleo sobre *S. zeamais*. Um estudo acerca da capacidade repelente e inseticida do óleo essencial de *Tagetes patula* L. (Astereaceae), cravo-de-defunto, demonstrou que na concentração de 10 µL, quando utilizado como repelente obteve um resultado de 96% dos insetos repelidos, e como inseticida, foi obtida uma mortalidade de 100% dos insetos nas concentrações de 30 e 50% (RESTELLO; MENEGATT; MOSSI, 2009). O óleo

essencial de *Pothomorphe umbellata* L. (Piperaceae) mostrou toxicidade por fumigação e pela via de contato sobre *S. zeamais* devido à presença de monoterpenos na composição desse óleo, o que lhe confere o efeito inseticida (PAULIQUEVIS; FAVERO, 2015).

1.5. Óleos essenciais como inseticidas

A utilização de óleos essenciais no controle de *S. zeamais* pode ser amplamente verificada na literatura. O óleo essencial de *Peumus boldus* Mol. (Monimiaceae) como alternativa para o controle de *S. zeamais* através do método de contato, obteve 100% de mortalidade com uma concentração de 4%, que alcançou 98,7% de mortalidade quando impregnado em grãos de milho. Pelo método de fumigação, 100% de mortalidade foi alcançado quando utilizou-se uma concentração de 35 µL em 0,15 L de ar, após 6 horas (BETANCUR R et al., 2010).

Diversos tipos de óleos também são utilizados no Brasil como forma alternativa para o controle *S. zeamais*. Óleos essenciais obtidos a partir das espécies *Piper hispidinervum* C.D.C. (Piperaceae), *P. marginatum* (Piperaceae), *Eugenia uniflora* L. (Myrtaceae), *Melaleuca leucadendron* L. (Myrtaceae), *Cinnamomum zeylanicum* Blume (Lauraceae) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) foram utilizados através dos métodos de fumigação, contato e ingestão para controlar *S. zeamais* em milho armazenado. As razões de toxicidade, resultado da divisão entre a menor concentração letal para matar 50% da população (CL₅₀) e as CL₅₀ das demais populações, pelo método de ingestão e contato variou entre 1,3 e 98,8, e pelo método de fumigação variou entre 2 e 178,2, onde o óleo essencial de *P. hispidinervum* obteve as maiores razões de toxicidade para os métodos de aplicações utilizados no estudo (COITINHO et al., 2011).

O óleo essencial de *Laurelia sempervirens* (Ruiz & Pav.) Tul. (Chilean Monimiaceae) obteve resultados quando testado pelos métodos de fumigação e de contato e ingestão. Pelo método de contato e ingestão nas concentrações de 10, 20 e 40 mL / Kg de milho, onde foi observada mortalidade de 100% dos indivíduos, além de inibirem a formação da geração F₁. Por fumigação, a dose maior (175 µL) mostrou uma mortalidade significativa, sendo responsável por uma mortalidade de 72,5% dos insetos submetidos a essa concentração. Além disso, todos os tratamentos apresentaram efeito repelente sobre os insetos expostos a eles (TORRES et al., 2014).

VEDOVATTO et al., (2015) avaliaram o potencial inseticida e a capacidade repelente do óleo essencial de *Cinnamodendron dinisii* Schwacke (Canellaceae) sobre *S. zmais*. O óleo essencial foi responsável por uma mortalidade que apresentou comportamento linear, obtendo valores, referentes as doses letais referentes a 5, 25, 50 e 95% da população, de 0,04, 0,17, 0,34 e 0,63 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$, respectivamente. Quanto à capacidade repelente, a repelência variou entre 55,4 e 85,2% quando foram levadas em conta as doses letais encontradas. Os óleos essenciais de *Laurus nobilis* L. (Lauraceae) e *Mentha pulegium* L. (Lamiaceae) foram testados na forma concentrada, sem diluição em nenhum tipo de solvente, e diluído em metanol e n-hexano. Os óleos concentrados apresentaram melhores resultados em detrimento dos óleos diluídos, apresentando mortalidade de 100% em todas as concentrações testadas, atingindo também a progênie. Somente as diluições 1:50 v/v e 1:10 v/v apresentaram mortalidade de 100% para o óleo de *L. nobilis*. Além disso, não foram observadas diferenças significativas entre os solventes utilizados (BARROS et al., 2015).

A utilização dos compostos majoritários encontrados nos óleos essenciais vem sendo utilizado como base para formulações de compostos usados como alternativa no controle de *S. zeamais*. O óleo essencial de *Lippia sidoides* Cham. (Verbenaceae) foi testado no controle do insetos-praga em cinco populações de *S. zeamais* oriundas do Brasil, obtendo valores referentes a concentração responsável por matar 50% da população entre 7.1 e 19.9 $\mu\text{g}/\text{mg}$. A população de Jacarezinho – PR foi a população mais tolerante enquanto que a população de Maracaju – MS foi a mais suscetível. Com base no composto majoritário encontrado no óleo de *L. sidoides*, o timol, foram desenvolvidos protótipos de nanoformulações que armazenadas por sete meses obtiveram alta mortalidade de *S. zmais* (OLIVEIRA et al., 2017).

1.6. Óleo essencial de *Croton* sp.

Em estudo realizado com *Zabrotes subfasciatus* (Boheman, 1833) (Coleoptera: Chrysomelidae, Bruchinae), praga associada ao feijão comum, a utilização dos óleos essenciais de *Croton pulegioidorus* Baill. (Euphorbiaceae) e *Croton heliotropifolius* Kunth (Euphorbiaceae) mostrou-se eficiente no controle do inseto-praga, apresentando mortalidade de 100% dos adultos nas concentrações utilizadas (0, 5, 10, 15 e 20 $\mu\text{L}/\text{L}$ de ar) pelo método de fumigação, onde também os óleos essenciais mostraram capacidade repelente sobre os insetos (BRITO et al., 2015). Testes realizados com os óleos essenciais de *C. pulegioidorus* e *C. heliotropifolius* com o intuito de controlar populações de *T. castaneum*, mostrou como

resultado a capacidade repelente dos óleos sobre esta praga, além de ocasionar redução de 100% da emergência e o óleo essencial de *C. pulegiodorus* ocasionar uma redução na taxa de crescimento instantâneo (r_i) da espécie (MAGALHÃES et al., 2015).

Em estudo realizado com os óleos essenciais *Syzygium aromaticum* (L.) Merr & Perry (Myrtaceae) e *C. zeylanicum*, sobre populações brasileiras de *S. zeamais* resistentes a piretróides e fosfina, somente piretróides e suscetível aos dois inseticidas. A população resistente aos dois inseticidas se mostrou mais tolerante ao óleo essencial de *C. zeylanicum* e teve sua taxa de crescimento populacional menos afetada pela utilização dos dois óleos, através de mecanismos como a redução da taxa respiratória ou reduzindo sua mobilidade quando exposto aos óleos. As populações resistentes apenas a piretróides apresentaram apenas uma redução na taxa respiratória, sem alterações no comportamento de locomoção. Por fim, a população suscetível aos inseticidas apresentou um aumento na sua locomoção quando expostas a superfícies tratadas com os dois tipos de óleo essencial (GONZALES CORREA et al., 2015).

O óleo essencial de *Croton urucurana* Baill. (Euphorbiaceae) obtido a partir do caule, foi testado com o objetivo de controlar *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae), o caruncho do feijão. Através do método de fumigação, foi verificada uma mortalidade significativa, mostrando efeito tóxico sobre o inseto, além de apresentar capacidade repelente e poder de reduzir a multiplicação dos insetos quando testado em concentrações letais e sub-letais (CARVALHO et al., 2016). Em milho armazenado, o óleo essencial de *C. pulegiodorus* causou mortalidade de mais de 70% da população de *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrichidae), quando utilizado nas concentrações mais altas (SOUZA et al., 2016). Como forma de controle alternativo do inseto-praga *S. zeamais*, o óleo essencial de *C. pulegiodorus* Baill demonstrou capacidade de causar mortalidade do inseto em diferentes populações, apresentando CL_{50} que variaram de 3,40 à 14,49, e CL_{90} variando de 9,60 à 19,60. As populações estudadas apresentaram uma Razão de resistência que variou de 1,84 a 4,26 vezes para o óleo essencial de *C. pulegiodorus* (SILVA, 2017).

1.8. Atividade Enzimática e alterações comportamentais

A complexidade na composição dos óleos essenciais determina a característica de diferentes formas de atuação destes compostos nos organismos alvos, onde principalmente

plantas aromáticas que apresentam óleos essenciais com mono e sesquiterpenos dentre seus compostos majoritários, apresentam a capacidade de inibir a atividade da enzima acetilcolinesterase, principal proteína envolvida no processo de hidrólise do neurotransmissor acetilcolina (LÓPEZ et al., 2015).

Alterações genéticas ocorridas no sítio de atuação da enzima acetilcolinesterase, em sua grande maioria, estão relacionadas com perda de sensibilidade na atuação desta enzima, sendo este fato um dos mecanismos bioquímicos responsáveis por conferir resistência a inseticidas, principalmente carbamato e organofosforados. Em destaque, pôde-se identificar, através de clonagem, sequenciamento e extensa caracterização, que o gene estrutural *Ace*, um locus gênico simples codificado principalmente no sistema nervoso central, está diretamente envolvido na resistência a inseticidas (FEYEREISEN, 1995).

A verificação da inibição enzimática causada por óleo essencial tem sido reportada em diversos trabalhos. Em estudo realizado com *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae), resistentes à clorpirifós-metil, para verificar os mecanismos bioquímicos que conferem resistência-cruzada ao óleo essencial de lavanda (*Lavandula latifolia* Medik., Lamiaceae e ilangue-ilangue (*Cananga odorata* (Lam.) Hook.f. & Thomson, Annonaceae) mostrou que os monoterpenos majoritários presentes nos óleos foram potentes inibidores da acetilcolinesterase, configurando-se que esta enzima pode ser o sítio-alvo dos óleos essenciais, porém a resistência a inseticidas pode não estar atrelada a esse fato (LEE, 2001).

Através da identificação dos compostos presentes nos óleos essenciais, sua utilização de forma isolada possibilita a compreensão do modo de ação dos compostos no organismo estudado. Em estudo realizado com os compostos Limoneno, SEM-76 e ZP-51 em concentração de 10^{-3} M sobre indivíduos de *R. dominica* observou-se que o composto ZP-51 apresentou a maior capacidade inibitória da enzima acetilcolinesterase, com uma atividade inibitória de 65%, seguido pelo composto SEM-76, que apresentou inibição enzimática na ordem de 27%. O limoneno, por sua vez, foi o composto que apresentou a menor capacidade de inibição da acetilcolinesterase, com inibição de 2% (KOSTYUKOVSKY et al., 2002).

Monoterpenos têm sido alvo de diversos estudos que visam elucidar os mecanismos de atuação destes compostos que se encontram presentes de forma expressiva na composição dos óleos essenciais, sobre os organismos-alvo. A utilização dos monoterpenos Linalol, Cânfora, γ -Terpineno, Geraniol, *S*-Carveol, *E*-Anetol, Fenchone e Estragol como inibidores da

acetilcolinesterase sobre os insetos-praga *S. oryzae* Schoenherr, 1838 (Coleoptera: Curculionidae), *R. dominica* Fabricius, 1792 (Coleoptera: Bostrichidae) e *Cryptolestes pusillus* Schoenherr, 1817 (Coleoptera: Laemophloeidae) mostrou que o Fenchona, *S*-Carveol e Linalol possuem uma alta capacidade de inibição dessa enzima. Além disso, Fenchona, γ -Terpineno e Geraniol apresentou inibição reversível devido a competição principalmente nos sítios ativos hidrofóbicos de enzimas (LÓPEZ; PASCUAL-VILLALOBOS, 2010).

Ensaio tem demonstrado a eficácia de compostos oriundos de óleos essenciais alterarem o comportamento de insetos ao entrarem em contato com estas substâncias. Em estudo realizado com os componentes do óleo essencial de *Zanthoxylum armatum* Lam. (Rutaceae) e *Zanthoxylum piperitum* (L.) Benn. (Rutaceae) mostrou capacidade repelente através dos grupos funcionais e da estrutura do esqueleto de monoterpenos encontrado nos compostos oriundos do óleo essencial, gerando, assim, alteração no comportamento da mosca-do-estábulo, *Stomoxys calcitrans* Linnaeus, 1758 (Diptera: Muscidae). O composto cuminaldeído desempenhou a maior capacidade de repelência dentre os compostos presentes no óleo essencial, desempenhando uma repelência de 94% após 15 minutos de tratamento, com uma dose de 10mg/papel filtro (HIEU et al., 2014)

Os compostos aromáticos presentes nos óleos essenciais concentram, em grande parte, sua atuação no sistema nervoso dos insetos, seja esta através de estímulos ou da inibição de moléculas específicas. Através da análise de resposta induzida dos neurônios olfatórios da antena de larvas de *Spodoptera littoralis* (Boisduval, 1833) (Lepidoptera: Noctuidae) é possível identificar um aumento nos potenciais de ação originado pela atividade dos neurônios quando expostos aos compostos aromáticos hexanol, acetato de amila, citral e eugenol, em doses crescentes. Houve boa correlação entre as observações eletrofisiológicas e a atividade dos potenciais de ação, quando foram utilizados os compostos eugenol e hexanol, podendo com isso haver uma indicação de que estes compostos desempenham papel repelente e atraente, respectivamente (RHARRABE; JACQUIN-JOLY; MARION-POLL, 2014).

Referências Bibliográficas

ANTUNES, L.E.G.; DIONELLO, R.G. Bioecologia de *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1885 (Coleoptera: Curculionidae). 2010. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_2/Sitophilus/index.htm>. Acesso em: 4/2/2016.

ANTUNES, L. E. G.; VIEBRANTZ, P. C.; GOTTARDI, R.; DIONELLO, R. G. Características físico-químicas de grãos de milho atacados por *Sitophilus zeamais* durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.15, p.615-620, 2011.

BARROS, G. et al. The use of *Laurus nobilis* and *Mentha pulegium* essential oils against *Sitophilus zeamais* (Coleoptera : Curculionidae) on stored maize. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 2, p. 191–195, 2015.

BETANCUR, J. et al. Actividad Insecticida del Aceite Esencial de *Peumus boldus* Molina sobre *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Chilean journal of agricultural research**, v. 70, n. 3, p. 399–407, 2010.

BRITO, S. S. S.; MAGALHÃES, C. J. I.; OLIVEIRA, C. R. F.; OLIVEIRA, C. H. C. M.; FERRAZ, M. S. S.; MAGALHÃES, T. A. Bioatividade de óleos essenciais sobre *Zabrotes subfasciatus* Boh. (Coleoptera: Chrysomelidae) em feijão-comum armazenado. **Agrária – Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 2, p. 243 – 248, 2015.

CARVALHO, G. S.; SILVA, L. B.; SILVA, L. S.; ALMEIDA, M. L. S.; CARNEIRO, E.; CÂNDIDO, A. C. S.; PERES, M. T. L. P. Insecticidal activity of plant extracts and essential oils of bleed water against the bean weevil. **Journal of Stored Products and Postharvest Research**. Campo Grande, v.7, n. 7, p.69-75. 2016. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/journal/JSPPR/article-abstract/1BF1A6E60446>> Acesso em: Jul. 2017

CHANDLER, D. et al. The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**,

v. 366, n. 1573, p. 1987–1998, 2011.

COITINHO, R. L. B. DE C. et al. Toxicidade por fumigação, contato e ingestão de óleos essenciais para *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1885 (Coleoptera: Curculionidae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 1, p. 172–178, fev. 2011.

EVANS, D. E. The biology of stored products Coleoptera. In: **Proc. Aust. Dev. Asst. Course on Preservation of Stored Cereals**, p.149-185,1981.

FAZOLIN, M. et al. Atividade inseticida do óleo essencial de *Tanaecium nocturnum* (Barb. Rodr.) Bur. & K. Shum (Bignoneaceae) sobre *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 4, p. 599–603, 2007.

FEYEREISEN, R. Molecular biology of insecticide resistance. **Toxicology Letters**, v. 82–83, p. 83–90, dez. 1995.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R. P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; LOPES, J.R.S.; OMOTTO, C. Entomologia agrícola. 10.ed. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920p.

GONZALES CORREA, Y. D. C. et al. Locomotory and physiological responses induced by clove and cinnamon essential oils in the maize weevil *Sitophilus zeamais*. **Pesticide biochemistry and physiology**, v. 125, p. 31–7, nov. 2015.

GUEDES, R.N.C. Manejo integrado para a proteção de grãos armazenados contra insetos. **Revista Brasileira de Armazenamento** 15, 3–48,1991.

GUEDES, R. N. C. et al. Resistance to DDT and pyrethroids in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 31, n. 2, p. 145–150, abr. 1995.

GUPTA, S.; DIKSHIT, A. K. Biopesticides: An ecofriendly approach for pest control. **Journal of Biopesticides**, v. 3, n. 1 SPEC.ISSUE, p. 186–188, 2010.

HIEU, T. T. et al. Behavioural and electroantennogram responses of the stable fly (*Stomoxys calcitrans* L.) to plant essential oils and their mixtures with attractants. **Pest Management Science**, v. 70, n. 1, p. 163–172, 2014.

HO, S. H. et al. The oil of garlic, *Allium sativum* L. (Amaryllidaceae), as a potential grain protectant against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus zeamais* Motsch. **Postharvest Biology and Technology**, v. 9, n. 1, p. 41–48, 1996.

HUANG, Y. et al. Toxic and antifeedant action of nutmeg oil against *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Sitophilus zeamais* Motsch. **Journal of Stored Products Research**, v. 33, n. 4, p. 289–298, 1997.

ISMAN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop Protection**, v. 19, n. 8–10, p. 603–608, 2000.

KOSTYUKOVSKY, M. et al. Activation of octopaminergic receptors by essential oil constituents isolated from aromatic plants: Possible mode of action against insect pests. **Pest Management Science**, v. 58, n. 11, p. 1101–1106, 2002.

LEE, S. E. Biochemical mechanisms conferring cross-resistance to fumigant toxicities of essential oils in a chlorpyrifos-methyl resistant strain of *Oryzaephilus surinamensis* L. (Coleoptera: Silvanidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 38, n. 2, p. 157–166, jan. 2001

LORINI, I.; SCHNEIDER, S. Pragas de Grãos Armazenados: resultados de pesquisa. Passo Fundo: EMBRAPA - CNPT, 1994. 47p.

LÓPEZ, M. D. et al. Acetylcholinesterase activity of electric eel is increased or decreased by selected monoterpenoids and phenylpropanoids in a concentration-dependent manner. **Chemico-Biological Interactions**, v. 229, p. 36–43, 2015.

LÓPEZ, M. D.; PASCUAL-VILLALOBOS, M. J. Mode of inhibition of acetylcholinesterase

by monoterpenoids and implications for pest control. **Industrial Crops and Products**, v. 31, n. 2, p. 284–288, 2010.

MAGALHÃES, C. R. I.; OLIVEIRA, C. R. F.; MATOS, C. H. C.; MAGALHÃES, T. A.; FERRAZ, M. S. S. Potencial inseticida de óleos essenciais sobre *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, sup. III, p. 1150 – 1158, 2015.

OLIVEIRA, A. P. et al. Nanoformulation prototype of the essential oil of *Lippia sidoides* and thymol to population management of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Industrial Crops and Products**, v. 107, n. May, p. 198–205, 2017.

ORR, D.; LAHIRI, S. **Integrated Pest Management**. 1st ed. Jammu, India: Springer Science, 2014.

PAULIQUEVIS, C. F.; FAVERO, S. Atividade insetistática de óleo essencial de *Pothomorphe umbellata* sobre *Sitophilus zeamais*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1192–1196, dez. 2015.

PIMENTEL, M. A. G. **Resistência a fosfina: Magnitude, mecanismo e custo adaptativo**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2006.

PRETTY, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1491, p. 447–465, 2008.

RESTELLO, R. M.; MENEGATT, C.; MOSSI, A. J. Efeito do óleo essencial de *Tagetes patula* L. (Asteraceae) sobre *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera, Curculionidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 2, p. 304–307, jun. 2009.

RHARRABE, K.; JACQUIN-JOLY, E.; MARION-POLL, F. Electrophysiological and behavioral responses of *Spodoptera littoralis* caterpillars to attractive and repellent plant volatiles. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 2, n. March, p. 1–9, 2014.

RIBEIRO, B. . et al. Insecticide resistance and synergism in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 39, n. 1, p. 21–31, 2003.

RITA DEVI, S. et al. Biology, morphology and molecular characterization of *Sitophilus oryzae* and *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, v. 73, p. 135–141, 1 set. 2017.

SANTOS, J. P.; CAJUEIRO, I. V. M.; FONTES, R. A. Avaliação de perdas causadas por insetos no milho armazenado ao nível de fazenda, em três estados. In: PAIVA, E. (Ed.), **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo**, CNPMA/EMBRAPA. Sete Lagoas, MG, Brazil, p. 65–66, 1986.

SANTOS, J. P.; OLIVEIRA, A. C. Perdas de peso em grãos armazenados devido ao ataque de insetos. EMBRAPA-CNPMS. Sete Lagoas, p. 6 1991.

SANTOS, J. P.; MAIA, J. D. G.; CRUZ, I. Efeito da infestação pelo gorgulho (*Sitophilus zeamais*) e traça (*Sitotroga cerealella*) sobre a germinação de sementes de milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 25, n.12, p.1687-1692, 1990.

SILVA, T.L. 2017. Avaliação do óleo essencial de *Croton pulegioidorus* Baill sobre populações de *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) resistentes a inseticidas sintéticos. Universidade Federal Rural de Pernambuco.

SOUZA, V. N.; OLIVEIRA, C. R. F.; OLIVEIRA, C. H. C. M.; ALMEIDA, D. K. F. Fumigation toxicity of essential oils against *Rhyzopertha dominica* (f.) in stored maize grain. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 2, p 435 – 450, 2016.

TORRES, C. et al. Insecticidal activity of *Laurelia sempervirens* (Ruiz & Pav.) Tul. essential oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Chilean journal of agricultural research**, v. 74, n. 4, p. 421–426, 2014.

VEDOVATTO, F. et al. Essential oil of *Cinnamodendron dinisii* Schwanke for the control of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) TT - Óleo essencial de *Cinnamodendron dinisii* Schwanke para controle de *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionid. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 1055–1060, 2015.

WARE, G. W.; WHITACRE, D. M. AN INTRODUCTION TO INSECTICIDES. In: **The Pesticide Book**. 3rd Ed ed. Fresno, California: Thomson Publications, 2000. p. 415.

WALIA, S. et al. Phytochemical biopesticides: some recent developments. **Phytochemistry Reviews**, p. 1–19, 2017.

CAPÍTULO II – RESPOSTA COMPORTAMENTAL DE POPULAÇÕES DE *Sitophilus zeamais* Motchshulsky (1855) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) AO ÓLEO ESSENCIAL DE *Croton pulegiodorus*

Renilson Pessoa Morato¹, Cláudia Helena Cysneiros Matos de Oliveira¹, Carlos Romero Ferreira de Oliveira¹, César Auguste Badji²

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Rua Gregório Ferraz Nogueira S/Nº, CEP 56909-535, Serra Talhada-PE, Brasil.

Autor para correspondência: renilsonpessoa@gmail.com

RESUMO

Sitophilus zeamais é uma das principais pragas do milho. Em alternativa ao uso de inseticidas químicos sintéticos, a utilização de produtos de origem botânica, como óleos essenciais, é introduzida como forma de controle da praga. A espécie *Croton pulegiodorus* possui óleo essencial com capacidade inseticida. Assim, o presente estudo tem por objetivo avaliar o efeito de concentrações letais do óleo essencial de *C. pulegiodorus* sobre aspectos comportamentais de populações de *S. zeamais* provenientes de diferentes localidades em milho armazenado. Foram utilizadas como tratamentos as concentrações referentes à CL₅₀ e CL₉₀ do óleo essencial de *Croton pulegiodorus* estimada para cada população, sendo cada parcela constituída por um adulto de *S. zeamais*. Cada repetição foi gravada por 10 minutos no sistema ViewPoint tracking®, sendo mensurados os parâmetros distância total de caminhamento (DTC), tempo total de caminhamento (TTC), velocidade média de caminhamento (VMC), número de paradas (NP) e Resistência ao deslocamento (RD). No parâmetro DTC, o os discos não-tratados referente a população de Serra Talhada – PE obteve o maior resultado e se sobressaiu às demais populações (410,13 cm), enquanto o discos não-tratados de Lajedo – PE apresentou o menor resultado (142,53 cm). Quanto ao parâmetro TTC, os discos tratados com a CL₉₀ das populações

de Bom Conselho - PE e Jacarezinho – PR, Bom Conselho – PE exposta à CL₅₀ e o controle de Sete Lagoas - MG mostraram maior TTC em relação às demais populações (441,92 s, 448,98 s, 427,33 s e 433,17 s, respectivamente). A população de Serra Talhada exposta a discos tratados com a CL₉₀ do óleo de *C. pulegiodorus* e a discos não tratados (controle) apresentou o maior VMC (0,88 cm s⁻¹ e 0,86 cm s⁻¹, respectivamente). Quanto ao número de paradas, os tratamentos com a CL₅₀ de Garanhuns – PE e CL₉₀ de São João – PE obtiveram os maiores NP (977,27 paradas e 891,47 paradas, respectivamente). O tratamento com a CL₅₀ da população de Lajedo – PE apresentou a maior RD dentre as populações (7,93 vezes), enquanto os controles referentes a São João – PE e CL₅₀ de Serra Talhada – PE apresentaram as menores RD (1,1 vezes e 0,98 vezes, respectivamente). Com isso, conclui-se que a utilização do óleo essencial de *C. pulegiodorus* altera o comportamento de populações de *S. zeamais* que apresentam diferentes graus de resistência a inseticidas piretróides e ao óleo essencial, as quais utilizam diferentes estratégias quando se encontram expostas a ação do mesmo

Palavras-chave

Inseticida botânico; resistência comportamental; Grãos armazenados; gorgulho-do-milho

ABSTRACT - Behavioral response of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (1855) (Coleoptera: Curculionidae) to *Croton pulegiodorus* essential oil.

Sitophilus zeamais is one of the main maize pests. The use of botanical products, such as essential oils is an alternative to the use of synthetic chemical insecticides to control pests. The essential oil of *Croton pulegiodorus* plants has insecticide potential. Thus, the objective of the presented study was to evaluate the effect of lethal concentrations of *C. pulegiodorus* essential oil on behavioral aspects of *S. zeamais* populations from different locations in Brazil. Treatments consisted of *C. pulegiodorus* essential oil concentrations (LD₅₀ and LD₉₀) and a control, and each plot consisted of an adult *S. zeamais*. Each replication was recorded for ten

minutes using a tracking system (ViewPoint®) to evaluate their total distance walked (TDW), total time of walking (TTW), average walking velocity (AWV), number of stops (NS), and locomotion resistance (LR). The *S. zeamais* population from Serra Talhada (PE) in the control treatment had the greatest TWD (410.13 cm), and that from Lajedo (PE) in the control treatment had the lowest (142.53 cm). The population from Jacarezinho (PR) and Bom Conselho (PE) in the LC₉₀, that from Bom Conselho in the LC₅₀, and that from Sete Lagoas (MG) in the control treatment showed the highest TTW (441.92 s, 448.98 s, 427.33 s, and 433.17 s, respectively). The population from Serra Talhada in the control (0.88 cm s⁻¹) and LC₉₀ (0.86 cm s⁻¹) treatments had the highest AWV. The population from Garanhuns (PE) in the LC₅₀ and that from São João in the LC₉₀ treatment had the highest NS (977.27 and 891.47, respectively). The population from Lajedo in the LC₅₀ had the highest LR (7.93 times), and those from São João in the control and from Serra Talhada in the LC₅₀ had the lowest (1.1 times and 0.98 time, respectively). Therefore, the use of *C. pulegiodorus* essential oil at lethal concentrations causes behavioral changes in *S. zeamais* populations; these populations have different resistance levels to pyrethroid insecticides and *C. pulegiodorus* essential oil and used different strategies when subjected to this essential oil.

Keywords: Botanical insecticides; Behavioral resistance; Stored grains; maize weevil

1. Introdução

Insetos presentes em grãos armazenados têm sido responsáveis por severas perdas (Faroni et al. 2005). Na cultura do milho, dentre os artrópodes que apresentam alto poder de deterioração de produtos armazenados, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (1855) (Coleoptera: Curculionidae) se destaca como a principal praga do milho armazenado (Rita Devi et al., 2017; Athanassiou et al., 2017). Trata-se de uma praga com distribuição cosmopolita capaz de atacar grãos intactos de cereais como milho, arroz, trigo e triticale (Lorini et al., 2015), sendo portanto

caracterizada como praga primária. As perdas ocasionadas por essa espécie são amplificadas devido a sua capacidade de infestação desde o campo até os locais de armazenamento com condições favoráveis, levando ao aumento da temperatura da massa e favorecendo a infestação por espécies produtoras de toxinas (Chu et al., 2013).

Diferentes estratégias de controle são utilizadas com o objetivo de mitigar os efeitos danosos da presença de *S. zeamais* em grãos armazenados. Dentre os métodos comumente utilizados, inseticidas químicos sintéticos se destacam, com ênfase nos pertencentes às classes dos Piretróides, Organofosforados e Fosfina (Gusmão et al., 2013). Apesar do custo reduzido advindo da utilização destes produtos na conservação de produtos armazenados, é verificado consequências adversas, como o acúmulo de resíduos nos produtos e o desenvolvimento de resistência pelos indivíduos submetidos a estes compostos (Orr & Lahiri, 2014; Opit et al., 2012). Na busca de métodos que visam a redução da utilização de inseticidas sintéticos, os inseticidas de origem botânica, como os óleos essenciais, vêm sendo amplamente estudados e têm sido postos como alternativa no controle de pragas associadas a produtos armazenados (Pérez et al., 2010; Kedia et al., 2015; Olmedo et al., 2015).

Produzidos a partir do metabolismo secundário das plantas, os óleos essenciais apresentam características, principalmente em sua composição, que os evidenciam como substâncias com grande potencial para serem utilizados como bactericida, antiviral, fungicida e inseticida, além do poder repelente que estes compostos podem desempenhar (Chao et al., 2000; Nerio et al., 2010). A ação dos óleos essenciais quando utilizados como inseticidas se dá por diferentes vias relacionadas com a forma de utilização dos mesmos. Portanto, a mortalidade ou repelência causada por estes compostos pode ser desencadeada a partir do contato por fumigação, ingestão e contato (Tripathi et al., 2009; Gonzalez-Coloma et al., 2013). Essa capacidade de atuar quando utilizado em diferentes vias sob diferentes organismos deve-se às categorias dos compostos ativos, como os terpenos, que compõem os óleos essenciais.

Compostos pertencentes ao grupo dos monoterpenos, grupo este responsável por conferir essência e odor as plantas, e principal constituinte dos óleos essenciais, apresentam importância no espectro biológico no que tange o controle de pragas por diferentes vias de aplicação (Rajendran and Sriranjini, 2008; Abdelgaleil et al., 2009).

O gênero *Croton* L. é um dos mais representativos do grupo das Euphorbiaceae, sendo representado por cerca de 1300 espécies, das quais cerca de 300 espécies ocorrem no Brasil (Lima et al., 2007; Zhang et al., 2016). Existem no gênero plantas aromáticas ricas em óleos essenciais, sendo que em algumas espécies foram identificadas uma ação inseticida sobre diferentes organismos entre os quais pragas de produtos armazenados (Morais et al., 2006; Silva et al., 2008; SOUZA et al., 2016). Uma espécie do grupo, conhecida popularmente como velaminho, *Croton pulegioidorus* Baill (Euphorbiaceae) apresenta porte arbustivo e encontra-se distribuída principalmente no Nordeste brasileiro. O óleo essencial obtido a partir de suas folhas é composto principalmente por monoterpenos, sendo o 1,8-cineol o composto majoritário (Neves and Camara, 2012), o que indica sua capacidade de ser utilizado como forma alternativa no controle de pragas associadas a grãos armazenados. Compostos pertencentes a essa classe química tem como modo de ação diversos alvos no sistema nervoso de insetos, como receptores de acetilcolinesterase, ácido γ -aminobutírico (GABA), entre outros (Miyazawa et al., 1997; Tong and Coats, 2010;).

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito de diferentes concentrações do óleo essencial de *C. pulegioidorus* sobre aspectos comportamentais de populações de *S. zeamais*, provenientes de Jupi – PE, Sete Lagoas – MG, Jacarezinho – PR, Garanhuns – PE, Bom Conselho – PE, São João – PE, Lajedo – PE e Serra Talhada – PE, que apresentam diferentes graus de resistência a inseticidas piretróides (Melo Júnior, 2015) e diferentes níveis de resistência ao óleo essencial de *C. pulegioidorus* (Silva, 2017).

2. Metodologia

2.1. Criação de *S. zeamais*

Populações de *S. zeamais* provenientes de diversas localidades foram mantidas, separadamente, em criações no laboratório para utilização nos bioensaios. Os insetos foram mantidos em recipientes plásticos com capacidade de 1 L contendo milho e fechados com tampas plásticas revestidas com tecido tipo *voil*, para permitir as trocas gasosas entre o recipiente e o meio externo. O milho utilizado nas criações foi mantido sob refrigeração a -80 °C por um período de 24 horas para eliminação de possíveis infestações presentes. As criações foram mantidas em câmaras tipo B.O.D à temperatura de 28 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas. Os insetos permaneceram confinados com intuito de obtenção de um número de insetos viáveis, sendo este procedimento repetido por gerações sucessivas. Foram mantidas criações de *S. zeamais* oriundas de Bom Conselho – PE, Garanhuns – PE, Jacarezinho – PE, Jupi – PE, Lajedo – PE, São João – PE, Serra Talhada – PE e Sete Lagoas – MG, as quais apresentam diferentes graus de suscetibilidade a inseticidas piretróides e ao óleo essencial de *C. pulegiodorus* (SILVA, 2017; MELO-JUNIOR et al., 2018) .

2.2. Óleo essencial

Para obtenção do óleo essencial foram coletadas folhas de *Croton pulegiodorus* Baill. (Euphorbiaceae) no município de Triunfo – PE ($7^{\circ}49'17.75''S$, $38^{\circ}06'31.83''W$, elev. 1123 m) e exsiccatas foram depositadas no Herbário do Semiárido do Brasil (HESBRA) (Voucher #S.S. Matos 104).

Após a coleta, o material vegetal foi levado ao laboratório, sendo seco em estufa a 60° C por um período de 48 horas. Em seguida, o material desidratado foi triturado para iniciar o processo de obtenção do óleo, onde foram adicionados 100 g em um balão de fundo redondo de 3L contendo água destilada, o qual foi submetido ao processo de hidrodestilação em aparelho

tipo Clevenger modificado. Um volume de 0.4 L de líquido emulsionável, obtido desse processo, foi acondicionado em um funil de bromo, sendo acrescentado em seguida 0,1L do solvente diclorometano (CH₂Cl₂). A solução foi agitada e colocada em decantação para a obtenção de duas fases: uma contendo a mistura óleo- solvente e a outra apenas água. Após a decantação, a mistura óleo-solvente foi transferida para um balão volumétrico de 0,5L, com o auxílio de um funil de vidro contendo algodão e sulfato de sódio anidro (Na₂SO₄) no seu interior, para reter a água presente na mistura. O balão volumétrico contendo a solução foi acoplado a um aparelho rotaevaporador, ligado a uma bomba de vácuo, para a etapa de separação do óleo e do solvente. Essa etapa do processo ocorreu durante o tempo necessário para que o solvente fosse completamente separado, restando apenas o óleo essencial no balão. O óleo essencial obtido nesse processo foi coletado com auxílio de uma pipeta e acondicionado em vidro âmbar, hermeticamente fechado, e armazenado sob baixas temperaturas (5° ± 2° C), para a manutenção das suas características físico-químicas.

O rendimento do óleo essencial levou em consideração o volume de óleo obtido, sua densidade e a massa seca do material vegetal, sendo calculado a partir da equação (Girard, 2007):

$$R\% = \frac{\text{volume}_{\text{óleo}} \cdot \text{densidade}}{\text{massa}_a} \cdot 100$$

onde:

R% = Rendimento do óleo;

Volume _{óleo} = volume de óleo em ml;

Densidade = massa de 1 ml de óleo (g);

massa _a = massa seca de folhas (g).

2.3. Avaliação da resistência comportamental de *S. zeamais*

Na realização dos bioensaios para avaliação comportamental foram utilizadas arenas experimentais compostas por placas de Petri com (9 cm Ø) contendo no seu interior discos de papel filtro (9 cm Ø), os quais foram colocados no fundo de cada uma delas. Os discos foram tratados com o óleo essencial de *C. pulegiodorus* nas concentrações correspondentes à CL₅₀ e CL₉₀ para cada população de *S. zeamais* (Silva, 2017) (Tabela 1) ou com 100 µL de água destilada (controle). Após esse processo, as placas contendo os discos tratados com cada uma das concentrações a serem testadas, e também o controle, foram levadas ao sistema Viewpoint® tracking. Para cada avaliação foi utilizado um adulto de *S. zeamais* que foi acondicionado na parte central da placa contendo um dos tratamentos. Após um minuto de aclimatação do inseto à arena, esta foi colocada no sistema sob a câmera de vídeo, sendo o experimento foi gravado por 10 minutos (Silva, 2011).

O delineamento utilizado no ensaio foi inteiramente casualizado, onde cada configuração Óleo x População determinava um tratamento a ser avaliado, totalizando 24 tratamentos, sendo cada um destes composto por 15 repetições. Cada repetição foi representada por um adulto de *S. zeamais*. Os parâmetros avaliados no experimento foram: Distância total de caminhada (DTC), Tempo de total de caminhada (TTC), Velocidade média de caminhada (VMC) e Número de paradas (NP) e Resistência ao deslocamento (RD). A resistência ao deslocamento foi calculada a partir da relação da variáveis TTC e DTC.

Tabela 1: Concentrações letais do óleo essencial de *Croton pulegiodorus* Baill para populações de *Sitophilus zeamais* Motschulsky referentes a mortalidade de 50% e 90% da população (CL₅₀ e CL₉₀).

População	Concentração OE*	
	CL ₅₀ (µL)	CL ₉₀ (µL)
Bom Conselho - PE	7,73	9,60
Garanhuns - PE ¹	3,40	10,04
Jacarezinho - PR ²	10,55	15,40
Jupi - PE ³	14,49	19,60
Lajedo - PE	7,54	10,60
São João - PE	6,25	13,40
Serra Talhada - PE	8,88	11,40
Sete Lagoas - MG ⁴	10,74	14,60

* Óleo essencial; ¹ População mais suscetível ao OE; ² População padrão de resistência a inseticidas piretróides; ³ População mais resistente ao OE; ⁴ População padrão de suscetibilidade a inseticidas piretróides. Adaptado de Silva, 2017.

2.4 Análise estatística

Os resultados obtidos nas análises comportamentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo cada parâmetro analisado individualmente. Havendo diferença significativa nos tratamentos foi aplicado o teste de agrupamento de médias Calinsky & Corsten (1985) ($p < 0.05$) para comparação de médias. A homogeneidade das variâncias e normalidade dos dados foram verificadas como premissas para a realização da análise de variância. As variáveis avaliadas em cada uma das populações foram submetidas à análise de correlação de Pearson. As análises foram desenvolvidas através do programa R (R core Team, 2017).

3. Resultados

O óleo essencial de *Croton pulegiodorus*, extraído a partir do método de hidrodestilação, apresentou um rendimento de 6%.

Os resultados obtidos para a análise comportamental indicaram, para os parâmetros avaliados, diferença significativa entre as populações de *S. zeamais*. Para a distância total de caminamento (DTC) foi observada diferença significativa entre os tratamentos ($F_{(23, 336)} = 2,001$; $p = 0,005$). A população de Serra Talhada – PE, na ausência do óleo de *C. pulegiodorus* (controle), apresentou maior DTC em detrimento das demais (410,13 cm) (Figura 1), diferindo significativamente dos tratamentos referentes a CL₅₀ e CL₉₀ (295,33 cm e 337,18 cm, respectivamente). Quando exposta a CL₅₀ e CL₉₀ do óleo essencial, a população de Jacarezinho, padrão de resistência à inseticidas piretróides, apresentou um acréscimo significativo na atividade de caminamento (318,92 cm e 332,68 cm, respectivamente) em relação ao controle (226,27 cm), entretanto, as concentrações óleo essencial testadas (CL₅₀ e CL₉₀) não diferiram estatisticamente. No sentido oposto, a população proveniente de Garanhuns – PE mostrou redução significativa da DTC nos tratamentos referentes a CL₅₀ e CL₉₀ (199,02 cm e 184,66 cm, respectivamente), comparada ao controle, apresentando maior DTC médio para a população (248,87 cm) (Figura 1). A população proveniente de Lajedo – PE apresentou um incremento no DTC médio à medida que houve aumento na concentração do óleo essencial, apresentando maior valor para a concentração referente a CL₉₀ (288,31 cm), seguido pela CL₅₀ (242,39) e pelo controle (142,53 cm), que apresentou menor DTC dentre as populações estudadas (Figura 1). População tida como padrão de suscetibilidade a inseticidas piretróides, Sete Lagoas – MG apresentou aumento na DTC, sendo obtidos os maiores valores para os tratamentos CL₅₀ e CL₉₀ (258,23 cm e 252,40 cm, respectivamente), que não diferiram entre si, porém, sendo estatisticamente diferentes do controle (206,30 cm) (Figura 1).

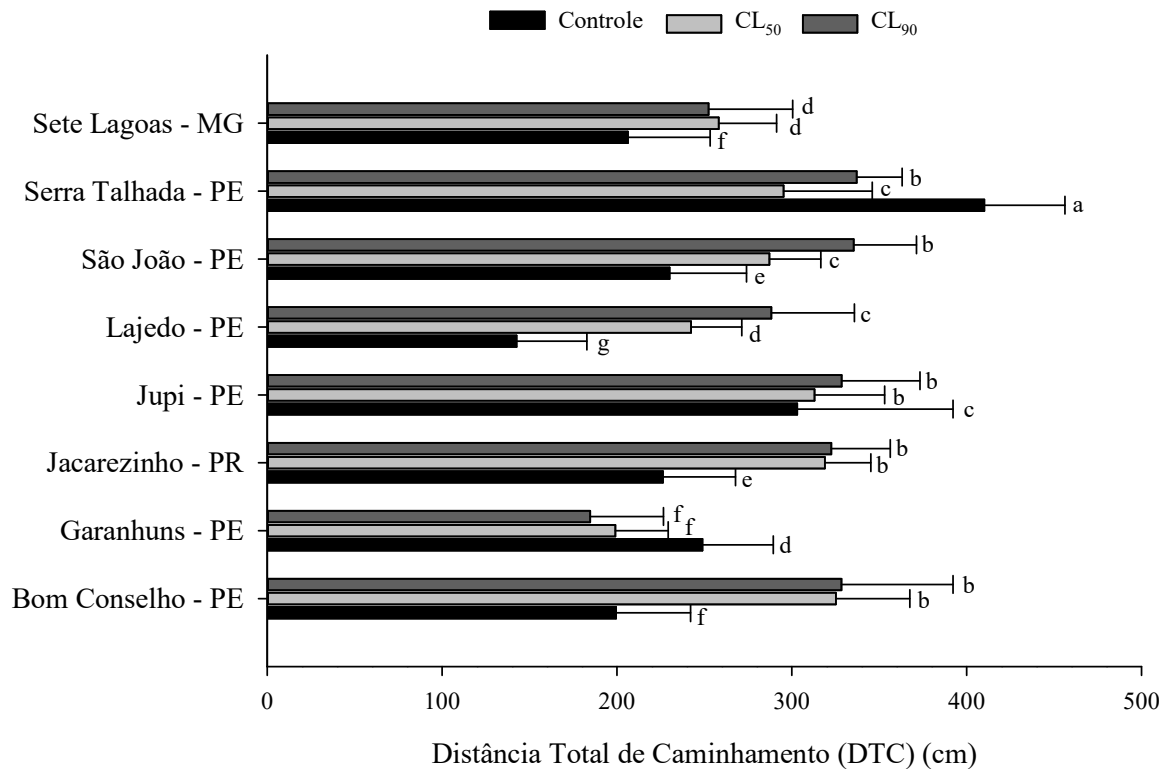


Figura 1: Distância total de caminhamento (DTC) de *Sitophilus zeamais* Motschulsky, provenientes de diferentes localidades, expostas à diferentes concentrações do óleo essencial de *Croton pulegiodorus* Baill por 10 minutos em placas de Petri (9 cm Ø). Barras com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$).

As populações de *S. zeamais* estudadas apresentaram diferenças significativas quanto ao tempo total de caminhamento (TTC) ($F_{23, 336} = 1,82$; $p < 0,013$) (Figura 2). As populações de Bom Conselho – PE e Jacarezinho – PR quando expostas a CL₉₀ do óleo de *C. pulegiodorus*, a de Bom Conselho – PE exposta a CL₅₀ do óleo e a de Sete Lagoas – MG na ausência do óleo (controle) apresentaram os maiores TTC comparadas com os demais tratamentos (441,92 s, 448,98 s, 427,33 s e 433,17 s, respectivamente) (Figura 2). Os tratamentos com óleo essencial não exerceram efeito significativo na população de Bom Conselho – PE mas se apresentaram estatisticamente diferentes do controle (322,49 s) (Figura 2). A população de Lajedo – PE exposta a CL₅₀ e a população de São João – PE na ausência do óleo essencial (controle),

apresentaram os menores TTC (224,67 s e 236,65 s, respectivamente) quando comparadas às demais populações. A população de Jacarezinho – PR, considerada padrão de resistência a inseticidas piretróides (Melo Júnior, 2015), apresentou aumento no TTC em comparação com o controle quando exposta a CL₅₀ e CL₉₀ (353,52 s, 385,41 s e 448,49 s, respectivamente) do óleo, sendo este comportamento também observado na população de Bom Conselho - PE. Com o menor grau de resistência ao óleo essencial de *C. pulegiodorus*, a população de Garanhuns – PE mostrou maior TTC nos tratamentos controle e CL₉₀ (382,55 s e 408,36 s, respectivamente) diferindo significativamente da CL₅₀ (360,35 s).

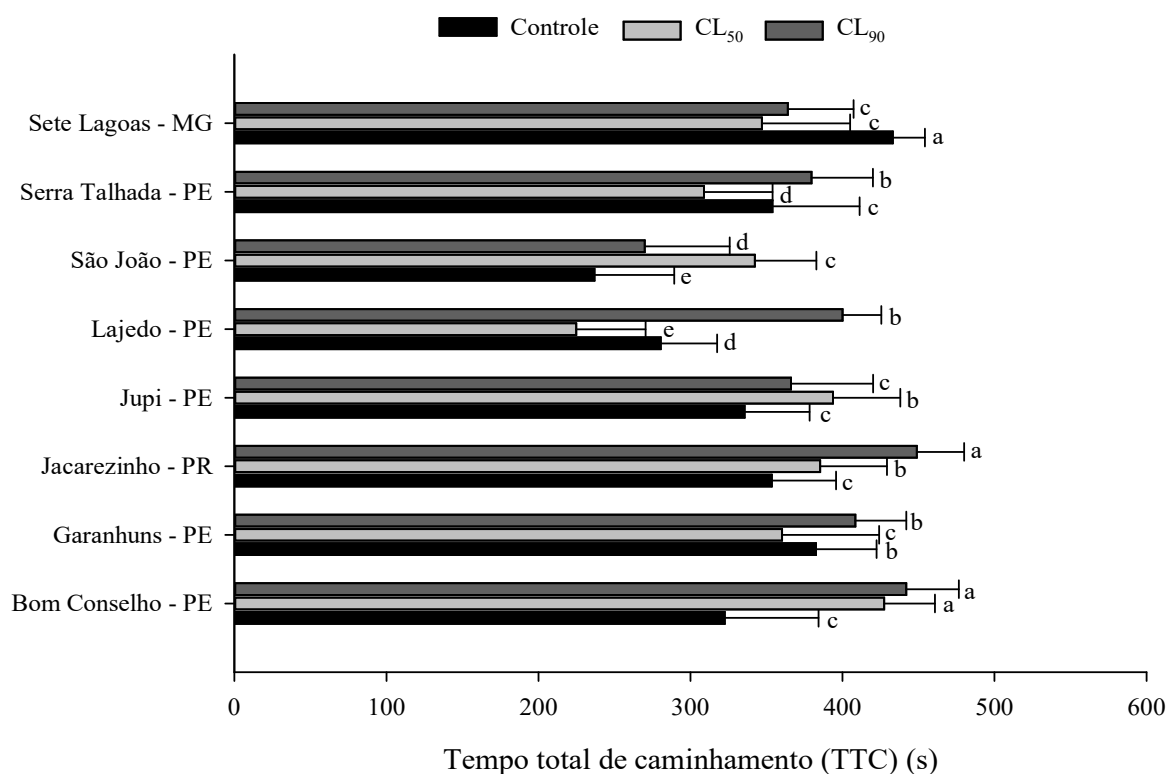


Figura 2: Tempo de caminhamento (TTC) de *Sitophilus zeamais* Motschulsky, provenientes de diferentes localidades, expostas à diferentes concentrações do óleo essencial de *Croton pulegiodorus* Baill por 10 minutos em placas de Petri (9 cm Ø). Barras com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$).

As populações de *S. zeamais* estudadas apresentaram diferença significativa entre os tratamentos no que diz respeito à velocidade média de caminamento (VMC) ($F_{23, 336} = 2,02; p = 0,004$). Serra Talhada-PE apresentou as maiores VMC dentre as populações estudadas no tratamento controle e no tratamento referente a CL₉₀ (0,88 cm s⁻¹ e 0,86 cm s⁻¹, respectivamente) que diferiram do tratamento CL₅₀ (0,80 cm s⁻¹) (Figura 3). O tratamento controle da população de São João-PE foi responsável pelo menor VMC dentre as populações estudadas (0,49 cm s⁻¹), sendo observado um aumento significativo no VMC para os tratamentos CL₅₀ e CL₉₀ (0,64 cm s⁻¹ e 0,80 cm s⁻¹, respectivamente) (Figura 3). A população padrão de resistência a inseticidas piretróides, Jacarezinho – PR, apresentou um incremento significativo nos tratamentos CL₅₀ e CL₉₀ (0,74 cm s⁻¹ e 0,74 cm s⁻¹, respectivamente) quando comparado ao controle (0,52 cm s⁻¹). Comportamento semelhante a este foi observado na população que apresenta maior grau de resistência ao óleo essencial, Jupi – PE, em que a CL₅₀ e CL₉₀ diferiram entre si e do controle (0,75 cm s⁻¹, 0,80 cm s⁻¹ e 0,60 cm s⁻¹, respectivamente) (Figura 3). As populações de Sete Lagoas – MG e Garanhuns – PE, padrão de suscetibilidade a inseticidas piretróides e com menor grau de resistência ao óleo essencial, respectivamente, apresentaram comportamento e VMC semelhantes nos tratamentos com óleo essencial, mostrando uma redução na VMC no tratamento CL₉₀ em relação a CL₅₀ (0,61 cm s⁻¹ e 0,70 cm s⁻¹, respectivamente em ambas populações).

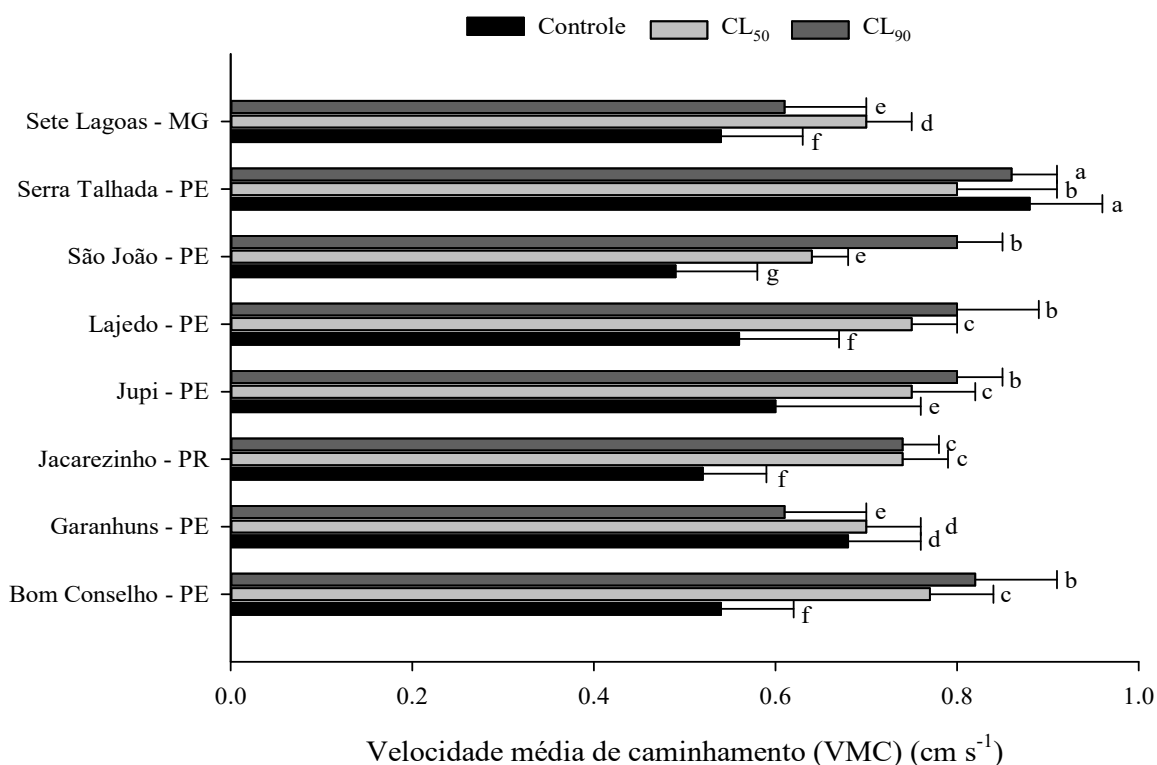


Figura 3: Velocidade média de caminamento (VMC) de *Sitophilus zeamais* Motschulsky expostos à diferentes concentrações do óleo essencial de *Croton pulegioidorus* Baill por 10 minutos em placas de Petri (9 cm Ø). Barras com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$).

O parâmetro número de paradas (NP) apresentou diferença estatística entre os tratamentos avaliados ($F_{26, 359} = 2.45; p < 0.001$). Os tratamentos referentes a CL₅₀ da população de Garanhuns – PE e CL₉₀ referente à população de São João – PE apresentaram os maiores valores de NP (977,27 paradas e 891,47 paradas, respectivamente) (Figura 4). Para a população oriunda de Garanhuns - PE, população com menor resistência ao óleo essencial, o tratamento CL₅₀ diferiu dos tratamentos controle e CL₉₀ (774,13 e 648,13 paradas, respectivamente); o tratamento CL₉₀ da população São João – PE diferenciou-se dos tratamentos controle e CL₅₀ (478,93 e 537,40 paradas, respectivamente) (Figura 4). A população de Jacarezinho – PR, referência de resistência a inseticidas piretróides, apresentou um comportamento

significativamente diferenciado quando exposta à CL₅₀ (632 paradas) do óleo em comparação ao controle e a CL₉₀ (495,80 e 588,60 paradas, respectivamente) (Figura 4). No que diz respeito a população referência de suscetibilidade a inseticidas piretróides, Sete Lagoas – MG, foi observado um aumento no NP nos tratamentos com o óleo essencial, CL₅₀ e CL₉₀ (787 e 733,33 paradas), quando comparados ao controle (479 paradas) (Figura 4). Em relação a população de Jupi - PE, que apresenta maior nível de resistência ao óleo essencial, foi observado um incremento no número de paradas nos tratamentos referentes a CL₅₀ e CL₉₀ (639,10 e 686 paradas, respectivamente) quando comparadas ao controle (285,69 paradas) (Figura 4); tratamentos estes que apresentaram o menor NP dentre os tratamentos analisados.

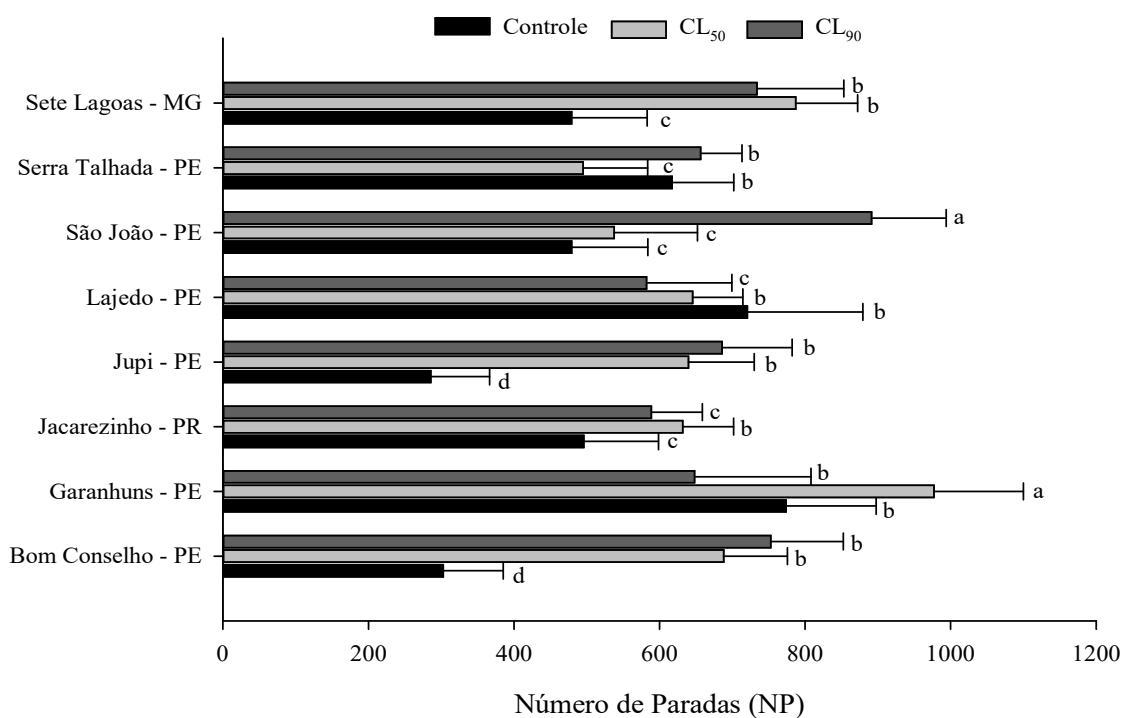


Figura 4: Número de paradas (NP) de *Sitophilus zeamais*, de diferentes localidades, expostos à concentrações do óleo essencial de *Croton pulegiodorus* Baill por 10 minutos em placas de Petri (9 cm Ø). Barras com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$).

A avaliação do parâmetro comportamental resistência ao deslocamento (RD) apresentou diferença significativa entre os tratamentos estudados ($F_{23,359} = 1,71$; $p = 0,023$). A população de Lajedo – PE quando submetida ao tratamento referente a CL_{50} apresentou a maior RC (7,93 vezes) quando comparada aos demais tratamentos, diferindo ainda dos tratamentos controle e CL_{90} da população (1,63 vezes e 1,22 vezes, respectivamente) (Figura 5). Por outro lado, dentre os tratamentos avaliados observou-se que o controle referente a população de São João – PE e a CL_{50} de Serra Talhada – PE (1,1 vezes e 0,98 vezes, respectivamente) mostraram as menores RD (Figura 5). Observando a população padrão de resistência a inseticidas piretróides, Jacarezinho – PR, observa-se a maior RD no tratamento CL_{90} (4,27 vezes), o qual difere dos tratamentos controle e CL_{50} (2,07 vezes e 1,21 vezes, respectivamente) (Figura 5). Em relação a população de Sete Lagoas – MG, padrão de suscetibilidade a inseticidas piretróides, foi observado maior RD no tratamento expresso pela CL_{90} (2,19 vezes) em comparação aos tratamentos controle e CL_{50} (1,44 vezes e 1,22 vezes, respectivamente) (Figura 5). A população de Jupi – PE, que possui maior resistência ao óleo essencial, apresentou um comportamento onde no tratamento referente CL_{50} (1,35 vezes) mostrou uma redução na RD quando comparado ao controle e CL_{90} (1,92 vezes e 2,14 vezes, respectivamente) (Figura 5). Tratando-se da população com menor resistência ao óleo essencial, Garanhuns – PE apresentou um incremento na RD na CL_{50} (1,99 vezes) em comparação com os tratamentos controle e CL_{90} 1,20 vezes e 1,31 vezes, respectivamente) (Figura 5).

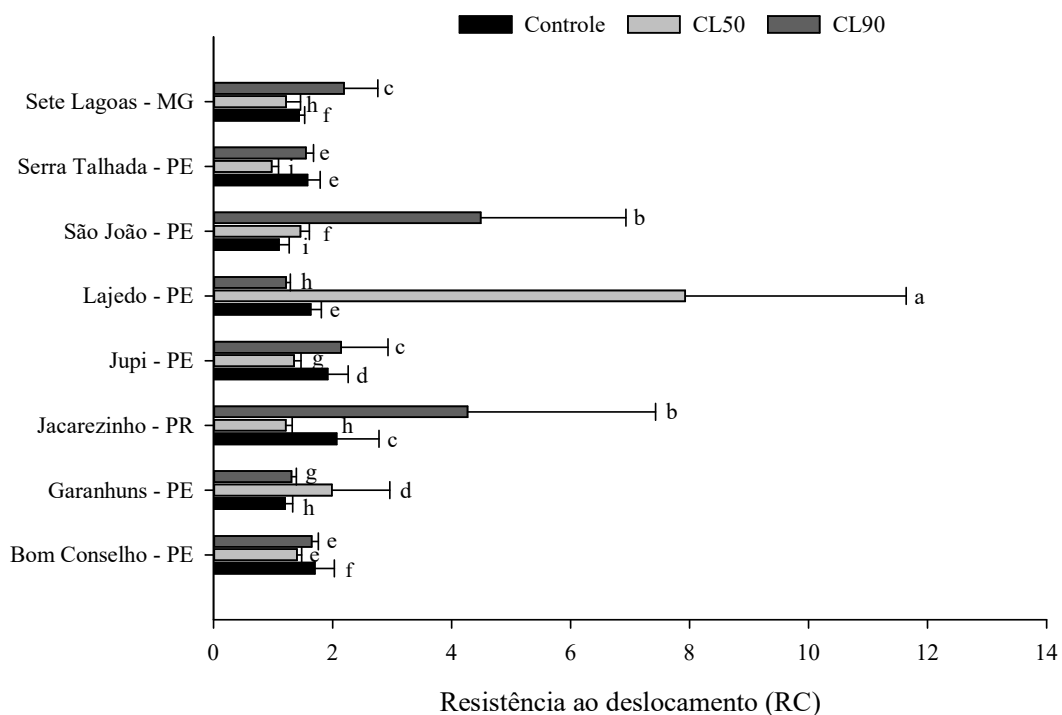


Figura 5: Resistência comportamental de *Sitophilus zeamais* Motschulsky oriundas de diferentes populações expostas ao óleo essencial de *Croton pulegiodorus* Baill em placa de Petri (9 cm Ø). Barras com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$).

O caminhamento padrão para cada população de *S. zeamais* estudada submetida às concentrações (controle, CL₅₀ e CL₉₀) do óleo de *C. pulegiodorus* apontam diferenças comportamentais nos diferentes tratamentos (Figura 6). É possível identificar que as populações do inseto, quando submetidas às diferentes concentrações do óleo essencial, evitam a parte central da arena para realizarem seus movimentos. No que diz respeito a área de caminhamento, as populações apresentaram um aumento nas áreas à medida que houve aumento na concentração do óleo essencial de *C. pulegiodorus*, com exceção da população de Serra Talhada – PE que teve sua área de caminhamento reduzida. Além disso, o efeito irritante causado pela presença do óleo essencial fica evidente quando se observa o padrão de caminhamento das

populações de Bom Conselho – PE, Jacarezinho – PR e Lajedo – PE, que apresentaram significativo incremento na área de caminhamento.

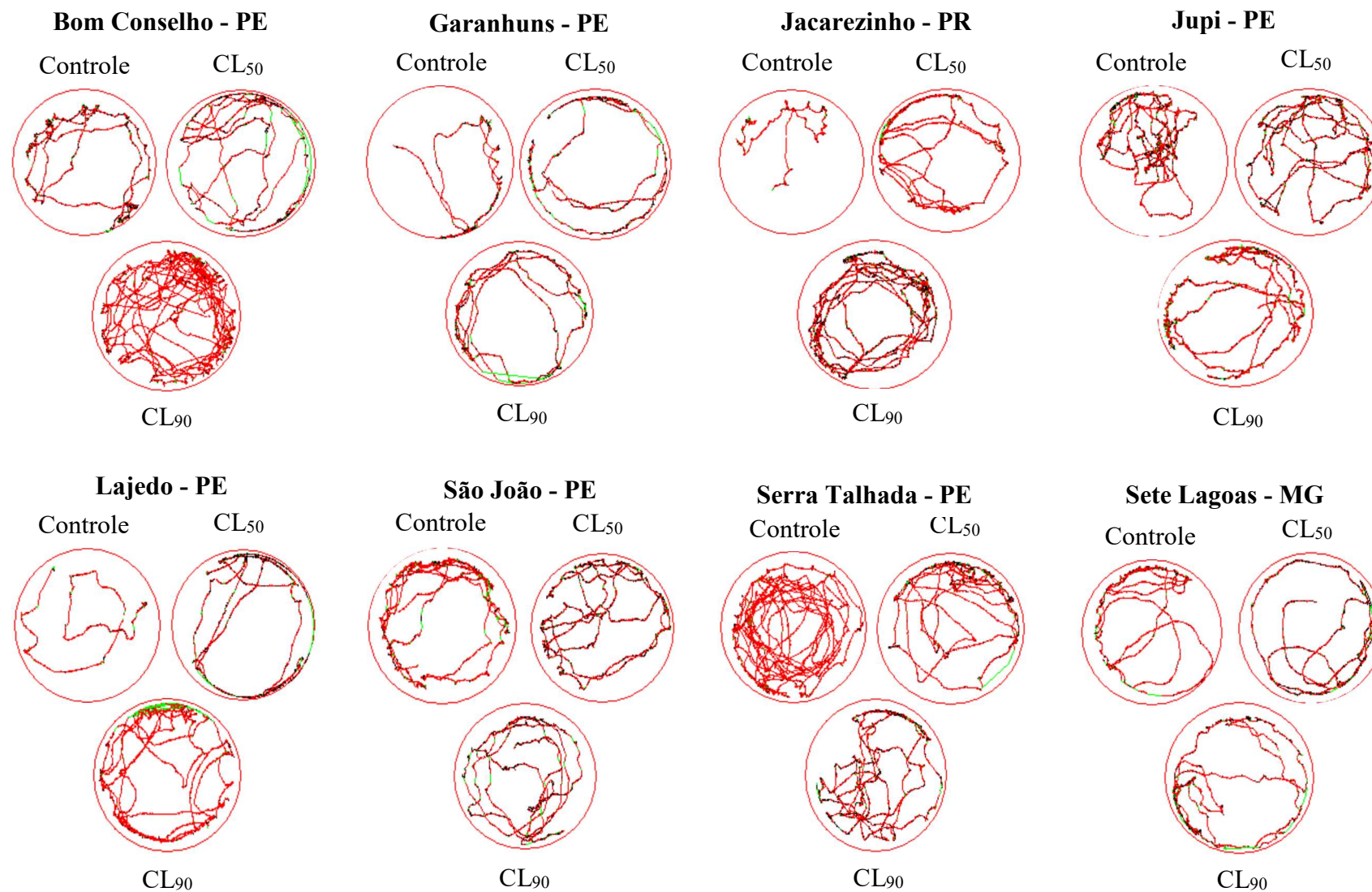


Figura 6: Trilhas demonstrativas apresentando o comportamento de *Sitophilus zeamais* Motschulsky, oriundas de diferentes localidades, expostas à concentrações do óleo essencial de *Croton pulegiodorus* em placa de Petri (9 cm Ø).

Ao se analisar a correlação entre as variáveis comportamentais estudadas foi possível se observar forte correlação entre a DTC e TTC em todas as populações estudadas (Figura 7). Observou-se que as populações oriundas de Garanhuns – PE e Lajedo – PE apresentaram as maiores correlações ($r = 0,87$ e $r = 0,87$, respectivamente), indicando que estas variáveis estão intimamente ligadas, sendo estas as populações que apresentaram as menores DTC e TTC médios dentre as populações estudadas (Figura 7). No que diz respeito à resistência comportamental (RC) a população de Serra Talhada – PE apresentou uma maior correlação negativa com a VMC ($r = -0,51$) e DTC ($r = -0,41$) (Figura 7), sugerindo que alterações na velocidade e na distância de caminhada da população levam a modificações da RC. Esta característica pode ser observada também nas populações de Lajedo – PE, Bom Conselho – PE e Sete Lagoas – MG ($r = -0,48$; $r = -0,41$ e $r = -0,46$, respectivamente) (Figura 7). Na população de Sete Lagoas – MG, além da VMC se correlacionar negativamente e influenciar na RC, foi observada correlação negativa da RC com a DTC (Figura 7), mostrando que além da velocidade, a distância de caminhada causa alteração da RC nesta população. A população de Lajedo – PE demonstrou que além de ter sua RC influenciada pela VMC, através de uma correlação negativa, seu comportamento também apresentou alterações devido a modificações do NP, que se correlaciona de forma positiva com o RC ($r = 0,38$) (Figura 7).

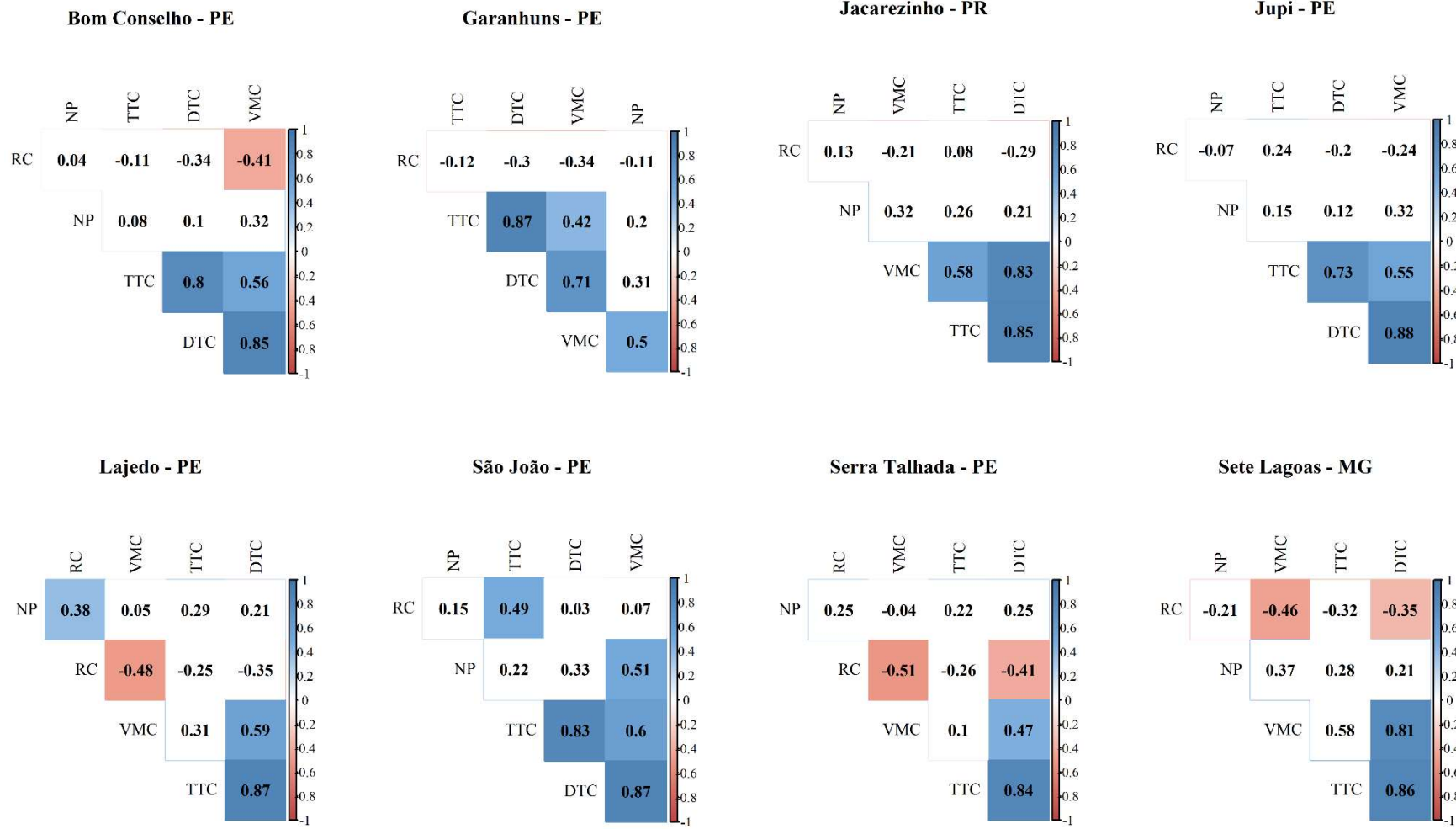


Figura 7: Correlação de Pearson entre variáveis comportamentais (Distância total de caminhada – DTC; Tempo total de caminhada – TTC; Velocidade média de caminhada – VMC; Número de paradas – NP; Resistência comportamental – RC) em populações de *Sitophilus zeamais* Motschulsky submetidas ao óleo essencial de *Croton pulegiodorus* Baill.

4. Discussão

A utilização do óleo essencial de *C. pulegiodorus* em concentrações letais (CL₅₀ e CL₉₀) promoveu alterações comportamentais em diferentes populações de *S. zeamais*. A população de Serra Talhada – PE, que apresenta um grau elevado de resistência ao óleo essencial de *C. pulegiodorus* (Silva, 2017), apresentou comportamento distinto do apresentado pela população padrão de resistência a inseticidas sintéticos, Jacarezinho – PE, reduzindo seu caminhar quando se encontrou exposta aos voláteis do óleo essencial de *C. pulegiodorus*. Essa alteração comportamental é explicada pela característica do óleo essencial, onde seus constituintes têm a capacidade de interagir com o sistema nervoso desses insetos e promover mudanças comportamentais importantes nos indivíduos atingidos. A atividade de óleos essenciais no sistema nervoso central dos insetos é dada principalmente pelos compostos majoritários, os quais desempenham atividade inibitória de importantes enzimas, como a Acetilcolinesterase e Butirilcolinesterase, responsáveis, principalmente, pela degradação do neurotransmissor Acetilcolina (Polatoğlu et al., 2016). Uma vez expostos ao óleo essencial, é possível verificar alteração na DTC dos insetos originários de diferentes regiões (Figura 1), sendo que esta alteração difere entre as populações, apresentando hiperatividade ou redução significativa no processo de caminhar. A redução do caminhar pode ser caracterizada pela perda de atividade neural, uma vez que a ação de determinados voláteis inibe a quimiorrecepção e conseqüentemente a realização de movimentos controlados pelo sistema nervoso central dos insetos (Dugravot et al., 2003; Mann et al., 2011).

Diferentes estratégias são utilizadas pelos insetos com o intuito de evitar exposição às substâncias que podem ocasionar danos. Como estratégia, foi possível observar que as populações de *S. zeamais* apresentaram diferentes tempos de caminhar quando expostas ao óleo essencial de *C. pulegiodorus*. A diferença constatada entre as populações pode sugerir o uso de mecanismos análogos aos utilizados pelas populações quando submetidas a inseticidas

sintéticos, uma vez que, semelhantemente, os óleos essenciais atuam sobre receptores localizados no sistema nervoso central dos insetos ou através da inibição de enzimas (Priestley et al., 2003; López and Pascual-Villalobos, 2010). O grau de suscetibilidade das populações estudadas contribui para a explicação do comportamento mostrado por cada uma delas no que se refere ao tempo de caminhamento, uma vez que estas apresentam diferentes graus de resistência aos inseticidas químicos sintéticos pirimifós-metil e permetrina (Melo Junior et al., 2018), indicando que as populações que apresentam suscetibilidade a estes compostos apresentaram incremento no TTC ao serem expostas às concentrações letais do óleo essencial de *C. pulegiodorus*, com exceção da população de Sete Lagoas – MG.

Com o intuito de evitar substâncias tóxicas, os insetos contam com mecanismos que detectam a presença de estas substâncias e através disso evitam o contato com tais substâncias (Guedes et al., 2009), sugerindo que a irritabilidade causada pela presença do óleo essencial contribui para a alteração no NP durante o período de caminhamento com o incremento da concentração do óleo, fato este observado nas populações estudadas. A presença do composto β -cariofileno na composição do óleo essencial de *C. pulegiodorus* produz nos insetos um comportamento que os levam a evitar áreas tratadas com substâncias que apresentem esse composto, seja pelo incremento ou redução da distância caminhada, sendo estas estratégias adotadas por populações suscetíveis ou resistentes a inseticidas químicos sintéticos (Gonzales Correa et al., 2015). Esse comportamento pode ser uma característica transmitida entre as gerações, compondo assim uma estratégia para evitar os danos ocasionados pela exposição a substâncias tóxicas somado a característica repelente de substâncias que compõem o óleo essencial (Lockwood et al., 1984; Kłyś et al., 2017).

A constituição química dos óleos essenciais confere a estas substâncias a capacidade de inibir a presença de indivíduos que ocasionam danos às plantas. A presença de substâncias como monoterpenos e sesquiterpenos indicam a capacidade do óleo essencial de *C.*

pulegiodorus de alterar o comportamento de insetos, causando assim um efeito repelente (Neves and da Camara, 2012). Averiguou-se neste estudo que nos ensaios com a presença do óleo essencial os insetos modificam seu comportamento, aumentando ou diminuindo seu caminhar, além de alterarem o padrão de caminhar com a finalidade de evitar contato com áreas tratadas. A utilização do essencial de canela e cravo, cuja composição química possui sesquiterpenos e eugenol, em populações de *S. zeamais* constatou que os insetos evitam o contato com áreas tratadas ou reduzem o tempo em cada uma que contenha os óleos essenciais juntamente com mudanças de comportamento em insetos que apresentam resistência ou suscetibilidade a piretróides e fosfina (Gonzales Correa et al., 2015; Haddi et al., 2015). Os componentes majoritários dos óleos essenciais apresentam capacidade de controlar pragas em grãos armazenados onde a atividade repelente sobre populações de *S. zeamais* impede a emergência de novos adultos em massas de grãos, configurando-se uma alternativa aceitável aos inseticidas sintéticos (Isman and Grieneisen, 2014; Freitas et al., 2016).

A capacidade repelente de determinados constituintes presentes nos óleos essenciais é a chave para alterações comportamentais nos insetos. Dentre os compostos responsáveis por tais alterações, a estruturação dos monoterpenos desempenha papel fundamental no aspecto referente a repelência, que por consequência promovem alterações comportamentais em indivíduos expostos a tais compostos (Hieu et al., 2014). Apesar da repelência está diretamente com alterações comportamentais, estudos com populações de *S. zeamais* expostas a organofosforado demonstram que ocorreram variações na mobilidade dos insetos entre as populações estudadas apesar do fato da repelência não apresentar-se significativa, demonstrando assim diferenças na percepção sensorial dos insetos e provável desenvolvimento de resistência comportamental em tais populações (Pereira et al., 2009). A toxicidade de compostos presentes nos óleos essenciais acarretam modificações na atividade locomotora e na contração de músculos dos insetos, indicando que sua atuação está diretamente ligada ao sistema nervoso

através de efeito neurotóxico que leva a hiperatividade, imobilização ou efeito *knock-down*, fato que está ligado a inibição de enzimas como acetilcolinesterase, responsável pela modulação dos impulsos nervosos no sistema nervoso, promovida pela ação de determinados compostos presentes nos óleos essenciais (Bhadra et al., 2015; Plata-Rueda et al., 2017).

O comportamento dos insetos oriundos de diferentes localidades foi alterado quando expostos ao óleo essencial de *C. pulegiodorus*. Em todos os parâmetros avaliados foi possível observar influência das concentrações do óleo essencial em cada uma das populações, evidenciando que estas apresentaram modificações comportamentais causadas pela interação com o óleo essencial de *C. pulegiodorus*. Alterações comportamentais foram observados na atividade de grupos de *S. zeamais* expostos aos inseticidas Deltametrina e Spinosad, onde o número de paradas, a atividade de caminhamento e a velocidade foram afetados pela exposição a estas substâncias tóxicas (Vélez et al., 2019). Quando expostos aos agentes de controle Deltametrina e Spinosad, as espécies *S. granarius* e *S. zeamais* tiveram a atividade de caminhamento comprometida quando expostos aos dois inseticidas, além de apresentarem mudanças bruscas de comportamento quando expostos ao inseticida Deltametrina devido a sua atuação no sistema nervoso desencadeando uma série de respostas que levam a morte do inseto (Vélez et al., 2017).

5. Conclusões

A presença do óleo essencial de *C. pulegiodorus* altera o comportamento de populações do inseto-praga *S. zeamais*, indicando que populações que apresentam diferentes níveis de resistência ao óleo essencial bem como a inseticidas piretróides desempenham comportamentos variados na presença do agente estressante.

O comportamento desempenhado pela população de Jupi – PE em relação ao parâmetro NP, em que a mesma apresenta um aumento abrupto no número de paradas durante o caminamento, demonstra uma maior resistência ao óleo essencial de *C. pulegiodorus*.

A população oriunda de Garanhuns – PE reduziu sua velocidade média de caminamento (VMC) e apresentou a menor distância total de caminamento quando encontrou-se exposta ao óleo essencial de *C. pulegiodorus*, indicando uma menor tolerância desta população ao inseticida natural.

A resistência ao deslocamento dos insetos foi alterada quando ocorreu a exposição ao óleo essencial de *C. pulegiodorus*, havendo respostas distintas para populações oriundas de localidades distintas.

A condução de novos estudos é necessária para um maior esclarecimento dos mecanismos envolvidos na alteração do comportamento de *S. zeamais* quando exposto a substâncias tóxicas.

Referências

- Abdelgaleil, S.A.M., Mohamed, M.I.E., Badawy, M.E.I., El-Arami, S.A.A., 2009. Fumigant and contact toxicities of monoterpenes to *Sitophilus oryzae* (L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst) and their inhibitory effects on acetylcholinesterase activity. *J. Chem. Ecol.* 35, 518–525. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9635-3>
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Campbell, J.F., 2017. Competition of three species of *Sitophilus* on rice and maize. *PLoS One* 12, 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173377>
- Bhadra, S., Dalai, M.K., Chanda, J., Mukherjee, P.K., 2015. Evaluation of Bioactive Compounds as Acetylcholinesterase Inhibitors from Medicinal Plants, in: Evidence-Based Validation of Herbal Medicine. Elsevier, pp. 274–300. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800874-4.00013-1>
- Calinski, T., Corsten, L.C.A., 1985. Clustering Means in ANOVA by Simultaneous Testing. *Biometrics* 41, 39–48. <https://doi.org/10.2307/2530641>
- Chao, S.C., Young, D.G., Oberg, C.J., 2000. Screening for inhibitory activity of essential oils on selected bacteria, fungi and viruses. *J. Essent. Oil Res.* 12, 639–649. <https://doi.org/10.1080/10412905.2000.9712177>
- Chu, S.S., Du, S.S., Liu, L.Z., 2013. Fumigant compounds from the essential oils of Chinese *Blumea bolsamifera* leaves against maize weevil (*Sitophilus zeamais*). *J. Chem.* 2013, 1–7. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1155/2013/289874>
- Dugravot, S., Grolleau, F., Macherel, D., Rochetaing, A., Hue, B., Stankiewicz, M., Huignard, J., Lapied, B., 2003. Dimethyl Disulfide Exerts Insecticidal Neurotoxicity Through Mitochondrial Dysfunction and Activation of Insect KATP Channels. *J. Neurophysiol.* 90, 259–270. <https://doi.org/10.1152/jn.01096.2002>
- Faroni, L.R.D.A., Barbosa, G.N.O., Sartori, M.A., Cardoso, F.S., Alencar, E.R., 2005.

- Avaliação qualitativa e quantitativa do milho em diferentes condições de armazenamento. *Engenharia na Agricultura* 13, 193–201.
- Freitas, R.C.P., Faroni, L.R.D.A., Haddi, K., Viteri Jumbo, L.O., Oliveira, E.E., 2016. Allyl isothiocyanate actions on populations of *Sitophilus zeamais* resistant to phosphine: Toxicity, emergence inhibition and repellency. *J. Stored Prod. Res.* 69, 257–264.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.09.006>
- Girard, E.A., Koehler, H.S., Netto, S.P., 2007. Volume, Biomassa e Rendimento de Oleos Essenciais do Craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus* (Gomes) Landrum). *Rev. Acad.* 5, 147–165.
- Gonzales Correa, Y.D.C., Faroni, L.R.A.A., Haddi, K., Oliveira, E.E., Pereira, E.J.G., 2015. Locomotory and physiological responses induced by clove and cinnamon essential oils in the maize weevil *Sitophilus zeamais*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 125, 31–7.
<https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.06.005>
- Gonzalez-Coloma, A., Reina, M., Diaz, C.E., Fraga, B.M., Santana-Meridas, O., 2013. Natural Product-Based Biopesticides for Insect Control, Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering. Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.02770-0>
- Guedes, N.M.P., Guedes, R.N.C., Ferreira, G.H., Silva, L.B., 2009. Flight take-off and walking behavior of insecticide-susceptible and resistant strains of *Sitophilus zeamais* exposed to deltamethrin. *Bull. Entomol. Res.* 99, 393–400.
<https://doi.org/10.1017/S0007485309006610>
- Gusmão, N.M.S., de Oliveira, J. V, Navarro, D.M. do A.F., Dutra, K.A., da Silva, W.A., Wanderley, M.J.A., 2013. Contact and fumigant toxicity and repellency of *Eucalyptus citriodora* Hook., *Eucalyptus staigeriana* F., *Cymbopogon winterianus* Jowitt and *Foeniculum vulgare* Mill. essential oils in the management of *Callosobruchus maculatus*

- (FABR.) (Coleoptera: Chrysomeli. J. Stored Prod. Res. 54, 41–47.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jspr.2013.02.002>
- Haddi, K., Oliveira, E.E., Faroni, L.R.A., Guedes, D.C., Miranda, N.N.S., 2015. Sublethal Exposure to Clove and Cinnamon Essential Oils Induces Hormetic-Like Responses and Disturbs Behavioral and Respiratory Responses in *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). J. Econ. Entomol. 108, 2815–2822. <https://doi.org/10.1093/jee/fov255>
- Hieu, T.T., Jung, J., Kim, S. Il, Ahn, Y.J., Kwon, H.W., 2014. Behavioural and electroantennogram responses of the stable fly (*Stomoxys calcitrans* L.) to plant essential oils and their mixtures with attractants. Pest Manag. Sci. 70, 163–172.
<https://doi.org/10.1002/ps.3547>
- Isman, M.B., Grieneisen, M.L., 2014. Botanical insecticide research: Many publications, limited useful data. Trends Plant Sci. 19, 140–145.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.11.005>
- Kedia, A., Prakash, B., Mishra, P.K., Singh, P., Dubey, N.K., 2015. Botanicals as eco friendly biorational alternatives of synthetic pesticides against *Callosobruchus* spp. (Coleoptera: Bruchidae)—a review. J. Food Sci. Technol. 52, 1239–1257.
<https://doi.org/10.1007/s13197-013-1167-8>
- Kłyś, M., Malejky, N., Nowak-Chmura, M., 2017. The repellent effect of plants and their active substances against the beetle storage pests. J. Stored Prod. Res. 74, 66–77.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.10.006>
- Lima, L.R. de, Cruz-Barros, M.A.V. da, Pirani, J.R., Correa, A.M. da S., 2007. Pollen morphology of *Croton* sect. *Lamprocroton* (Mull. Arg.)Pax (Euphorbiaceae) and its taxonomic implications. Nord. J. Bot. 25, 206–217. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0107-055X.00076.x>
- Lockwood, J.A., Sparks, T.C., Story, R., 1984. Evolution of insect resistance to insecticides: a

- reevaluation of the roles of physiology and behavior. *Bull Entomol Soc Am* 30, 41–51.
<https://doi.org/10.1093/besa/30.4.41>
- López, M.D., Pascual-Villalobos, M.J., 2010. Mode of inhibition of acetylcholinesterase by monoterpenoids and implications for pest control. *Ind. Crops Prod.* 31, 284–288.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.11.005>
- Lorini, I., Krzyzanowsky, F.C., França-Neto, J.B., Henning, A. V., Henning, F.A., 2015. Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas, 1st ed, Embrapa Soja. Embrapa Soja, Brasília - DF.
- Mann, R.S., Rouseff, R.L., Smoot, J.M., Castle, W.S., Stelinski, L.L., 2011. Sulfur volatiles from *Allium* spp. affect Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), response to citrus volatiles. *Bull. Entomol. Res.* 101, 89–97.
<https://doi.org/10.1017/S0007485310000222>
- Melo Junior, J.L. de A., Silva, J.A., Santoro, K.R., Badji, C.A., 2018. Insecticide resistance of corn weevil populations from semi-arid regions. *Aust. J. Crop Sci.* 12, 430–434.
<https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.03.pne863>
- Miyazawa, M., Watanabe, H., Kameoka, H., 1997. Inhibition of Acetylcholinesterase Activity by Monoterpenoids with a *p*-Menthane Skeleton. *J. Agric. Food Chem.* 45, 677–679.
<https://doi.org/10.1021/jf960398b>
- Morais, S.M., Cavalcanti, E.S., Bertini, L.M., Oliveira, C.L., Rodrigues, J.R., Cardoso, J.H., 2006. Larvicidal activity of essential oils from Brazilian *Croton* species against *Aedes aegypti* L. *J Am Mosq Control Assoc* 22, 161–164. [https://doi.org/10.2987/8756-971X\(2006\)22\[161:LAOEOF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2987/8756-971X(2006)22[161:LAOEOF]2.0.CO;2)
- Nerio, L.S., Olivero-Verbel, J., Stashenko, E., 2010. Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresour. Technol.* 101, 372–378.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.048>

- Neves, I. de A., da Camara, C.A.G., 2012. Volatile constituents of two *Croton* species from Caatinga biome of Pernambuco-Brasil. *Rec. Nat. Prod.* 6, 161–165.
- Oliveira, E.E., Guedes, R.N.C., Corrêa, A.S., Damasceno, B.L., Santos, C.T., 2005. Resistência vs susceptibilidade a piretróides em *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae): há vencedor? *Neotrop. Entomol.* 34, 981–990.
<https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000600015>
- Olmedo, R., Herrera, J.M., Lucini, E.I., Zunino, M.P., Pizzolitto, R.P., Dambolena, J.S., Zygadlo, J.A., 2015. Essential oil of *Tagetes filifolia* against the flour beetle *Tribolium castaneum* and its relation to acetylcholinesterase activity and lipid peroxidation. *Agriscientia* 32, 113–121.
- Opit, G.P., Phillips, T.W., Aikins, M.J., Hasan, M.M., 2012. Phosphine Resistance in *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica* From Stored Wheat in Oklahoma. *J. Econ. Entomol.* 105, 1107–1114. <https://doi.org/10.1603/EC12064>
- Orr, D., Lahiri, S., 2014. *Integrated Pest Management*, 1st Ed. ed, Integrated Pest Management. Springer Science, Jammu, India. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398529-3.00028-2>
- Pereira, C.J., Pereira, E.J.G., Cordeiro, E.M.G., Della Lucia, T.M.C., Tótoia, M.R., Guedes, R.N.C., 2009. Organophosphate resistance in the maize weevil *Sitophilus zeamais*: Magnitude and behavior. *Crop Prot.* 28, 168–173.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.10.001>
- Pérez, S.G., Ramos-López, M.A., Zavala-Sánchez, M.A., Cárdenas-Ortega, N.C., 2010. Activity of essential oils as a biorational alternative to control coleopteran insects in stored grains. *J. Med. Plants Res. December Spec. Rev.* 4, 2827–2835.
- Plata-Rueda, A., Martínez, L.C., Santos, M.H. Dos, Fernandes, F.L., Wilcken, C.F., Soares, M.A., Serrão, J.E., Zanuncio, J.C., 2017. Insecticidal activity of garlic essential oil and

- their constituents against the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Sci. Rep.* 7, 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep46406>
- Polatoğlu, K., Karakoç, Ö.C., Yücel Yücel, Y., Gücel, S., Demirci, B., Başer, K.H.C., Demirci, F., 2016. Insecticidal activity of edible *Crithmum maritimum* L. essential oil against Coleopteran and Lepidopteran insects. *Ind. Crops Prod.* 89, 383–389. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.05.032>
- Priestley, C.M., Williamson, E.M., Wafford, K.A., Sattelle, D.B., 2003. Thymol, a constituent of thyme essential oil, is a positive allosteric modulator of human GABA_A receptors and a homo-oligomeric GABA receptor from *Drosophila melanogaster*. *Br. J. Pharmacol.* 140, 1363–1372. <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0705542>
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL <https://www.R-project.org/>
- Rajendran, S., Sriranjini, V., 2008. Plant products as fumigants for stored-product insect control. *J. Stored Prod. Res.* 44, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2007.08.003>
- Rita Devi, S., Thomas, A., Rebijith, K.B., Ramamurthy, V. V., 2017. Biology, morphology and molecular characterization of *Sitophilus oryzae* and *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.* 73, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.08.004>
- Silva, T.L. da, 2017. Avaliação do óleo essencial de *Croton pulegioidorus* Baill sobre populações de *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidae) resistentes a inseticidas sintéticos. Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Silva, W.M. da, 2011. Aspéctos genéticos e comportamentais da resistência a deltramentina em populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Silva, C.G. V., Zago, H.B., Júnior, H.J.G.S., Camara, C.A.G., Oliveira, J.V., Barros, R.,

- Schwartz, M.O.E., Lucena, M.F.A., 2008. Composition and Insecticidal Activity of the Essential Oil of *Croton grewoides* Baill. against Mexican Bean Weevil (*Zabrotes subfasciatus* Boheman). *J. Essent. Oil Res.* 20, 179–182.
<https://doi.org/10.1080/10412905.2008.9699985>
- Sousa, V.N. de, Oliveira, C.R.F. de, Matos, C.H.C., Almeida, D.K.F., 2016. Fumigation toxicity of essential oils against *Rhyzopertha dominica* (F.) in stored maize grain. *Rev. Caatinga* 29, 435–440. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n220rc>
- Tong, F., Coats, J.R., 2010. Effects of monoterpenoid insecticides on [3H]-TBOB binding in house fly GABA receptor and ³⁶Cl⁻ uptake in American cockroach ventral nerve cord. *Pestic. Biochem. Physiol.* 98, 317–324. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2010.07.003>
- Tripathi, A.K., Upadhyay, S., Bhuiyan, M., Bhattacharya, P.R., 2009. A review on prospects of essential oils as biopesticide in insect-pest management. *J. Pharmacogn. Phyther.* 1, 52–63.
- Vélez, M., Barbosa, W.F., Quintero, J., Chediak, M., Guedes, R.N.C., 2017. Deltamethrin- and spinosad-mediated survival, activity and avoidance of the grain weevils *Sitophilus granarius* and *S. zeamais*. *J. Stored Prod. Res.* 74, 56–65.
<https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.10.002>
- Vélez, M., Bernardes, R.C., Barbosa, W.F., Santos, J.C., Guedes, R.N.C., 2019. Walking activity and dispersal on deltamethrin- and spinosad-treated grains by the maize weevil *Sitophilus zeamais*. *Crop Prot.* 118, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.12.013>
- Zhang, Z., Yang, T., Zhang, Y., Wang, L., Xie, Y., 2016. Fumigant toxicity of monoterpenes against fruitfly, *Drosophila melanogaster*. *Ind. Crops Prod.* 81, 147–151.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.076>