



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ANGÉLICA DA SILVA SALUSTINO

**INTERAÇÕES INSETICIDAS E ISCAS TÓXICAS EM *Ceratitis capitata* (DIPTERA:
TEPHRITIDAE) E SUAS IMPLICAÇÕES NA MACROFAUNA DO SOLO**

AREIA

2023

ANGÉLICA DA SILVA SALUSTINO

**INTERAÇÕES INSETICIDAS E ISCAS TÓXICAS EM *Ceratitis capitata* (DIPTERA:
TEPHRITIDAE) E SUAS IMPLICAÇÕES NA MACROFAUNA DO SOLO**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de doutora em Agronomia. Área de concentração Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique de Brito.

Coorientadora: Prof.^a: Dra. Yirina Valdes Vazquez

AREIA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S181i Salustino, Angélica da Silva.

Interações inseticidas e iscas tóxicas em *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) e suas implicações na macrofauna do solo / Angélica da Silva Salustino. -
Areia:UFPB/CCA, 2023.

63 f. : il.

Orientação: Carlos Henrique de Brito.

Coorientação: Yirina Valdes Vazquez.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Malationa. 3. Deltametrina. 4.
Espineteram. 5. Macrofauna do solo. I. Brito, Carlos
Henrique de. II. Vazquez, Yirina Valdes. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.2)

ANGÉLICA DA SILVA SALUSTINO

**INTERAÇÕES INSETICIDAS E ISCAS TÓXICAS EM *Ceratitis capitata*
(DIPTERA: TEPHRITIDAE) E SUAS IMPLICAÇÕES NA MACROFAUNA DO
SOLO**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de doutora em Agronomia. Área de concentração Agricultura Tropical.

Aprovado em: 20/04/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Henrique de Brito – (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

gov.br

Documento assinado digitalmente
CARLOS HENRIQUE DE BRITO
Data: 03/07/2023 14:12:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Bruno Malaquias
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

gov.br

Documento assinado digitalmente
JOSE BRUNO MALAQUIAS
Data: 11/07/2023 13:26:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Leonardo Dantas da Silva
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

gov.br

Documento assinado digitalmente
MARCOS BARROS DE MEDEIROS
Data: 06/07/2023 22:50:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcos Barros de Medeiros
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

gov.br

Documento assinado digitalmente
ROBERIO DE OLIVEIRA
Data: 04/07/2023 14:56:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

PNPD. Dr. Robério Oliveira
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

A minha mãe Maria da Silva Salustino e meu pai Antônio Salustino da Silva por todo apoio para a realização dessa etapa de minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por minha vida, saúde, determinação, coragem e por todas as oportunidades que tem me oferecido.

À minha família, por todo apoio amor, companheirismo e compreensão, em especial, meus pais Maria e Antônio Salustino, meu tio Cicero Ribeiro, minha tia Josefa Costa, minha prima Ivonete Lima e seus filhos.

À Ivan Sergio Oliveira, pelo companheirismo e por todas as vezes que me mostrou que sou capaz de ir além dos meus limites.

Ao meu orientador, Carlos Henrique de Brito, pelo profissionalismo, dedicação e competência ao me orientar.

A todos os meus amigos do Laboratório de Invertebrados (LABIN), em especial, Lylian Ribeiro, Marília Duarte e Khyson Abreu e aos demais Nayana Rodrigues, Manoel Oliveira, Renan Rodrigues, Denilson Santos, Andressa Madalena e Aíla Batista, pelas contribuições que para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos funcionários do laboratório Rhaldney Felipe, Alexandra Andrade e Damásio Araújo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade da realização do curso.

Aos professores do PPGA, pelo aprendizado partilhado.

Aos professores Bruno Malaquias, Marcos Barros, Leonardo Dantas e Robério Oliveira pelas sugestões de correções do trabalho.

Ao Laboratório de solos do CCHSA pelo empréstimo de equipamentos.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

Os inseticidas são de grande importância para o aumento da produtividade agrícola, principalmente no setor frutícola, que demanda uma grande quantidade de aplicações para o controle de insetos-praga, como a *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae). Dentre os produtos mais utilizados para o controle dessa praga, estão os dos grupos organofosforados, piretróides e espinosinas, cujas aplicações se dão por meio de cobertura total ou pela utilização de iscas tóxicas. Todavia, o elevado uso desses produtos pode causar efeitos negativos ao meio ambiente e à sua biota, principalmente aos organismos do solo. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a suscetibilidade de *C. capitata* a doses de malationa, deltametrina e espinetoram de forma isolada e na formulação de iscas tóxicas, e os efeitos desses inseticidas na macrofauna do solo. A avaliação da letalidade dos inseticidas de forma isolada se deu sobre as fases imatura e adulta de *C. capitata*, via contato e via ingestão, aplicando-se doses obtidas por meio da diminuição da dose recomendada em intervalos de 20%, sendo essa a dose mínima utilizada. Os parâmetros avaliados foram: (1) viabilidade de ovos (2) de pupas e (3) mortalidade de larvas e (4) de adultos. Quando os produtos foram associados aos atrativos, formando as iscas tóxicas, ofertou-se às moscas misturas com os inseticidas na dose recomendada pelo fabricante (D100) e uma dose de 80% da dose recomendada (D80). Após a oferta das iscas aos insetos, avaliou-se a toxicidade das mesmas em função do tempo. Para a avaliação do efeito dos inseticidas na macrofauna, os mesmos foram aplicados na dosagem recomendada pelo fabricante, utilizando-se o dobro do volume de calda para aplicações terrestres. Após a aplicação, a macrofauna do solo foi avaliada com base no método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF), com posterior determinação da densidade (indivíduos por m²), riqueza, índices de diversidade de Shannon-Weaver (H') e equabilidade de Pielou (J'). Como resultados, nas aplicações utilizando apenas os inseticidas, observou-se que espinetoram e malationa quando aplicados via contato causaram uma elevada mortalidade nos adultos, com DL₉₀ nas subdoses de 43,74% (52,48 g p.c. ha⁻¹) e de 68,81% (137,62 mL p.c. 100L⁻¹), respectivamente. Para a fase de ovo, apenas o defensivo com deltametrina apresentou DL₅₀. As fases de larvas e de pupas não sofreram efeitos negativos das doses por contato, no entanto, sofreram efeito dos inseticidas, quando as larvas apresentaram uma mortalidade de 52% para espinetoram e de 61% para malationa. Por ingestão, foi possível apenas a estimativa da DL₅₀ com malationa e deltametrina em adultos, para larvas a letalidade foi abaixo de 20% com os três inseticidas. Com a utilização das iscas tóxicas, foram observadas maiores taxas de suscetibilidade de *C. capitata* nas formulações com malationa na D80 em tempo letal mediano (TL₅₀) de 1 hora, independentemente do atrativo utilizado. Já para as iscas formuladas com espinetoram, foi observado um TL₅₀ de 6 horas na D80. Em contraste, a menor suscetibilidade foi observada nas iscas formuladas com deltametrina, independentemente da dose e do atrativo utilizado. Para os efeitos na macrofauna do solo, foi constatado que malationa, deltametrina e espinetoram não afetaram a densidade total nem a densidade por grupos taxonômicos, exceto no grupo Coleoptera, que apresentou uma menor densidade de indivíduos por m² em solo tratado com malationa e deltametrina. A diversidade de indivíduos dos grupos avaliados também foi reduzida por deltametrina. Por fim, pode-se afirmar que deltametrina apresenta baixa eficiência no controle de adultos de *C. capitata*, via contato direto e com a utilização de iscas tóxicas. Espinetoram e malationa apresentam eficiência de 90% sobre *C. capitata* em subdoses de 43,74% (52,48 g p.c. ha⁻¹) e 68,81% (137,62 mL p.c. 100L⁻¹) respectivamente, via contato direto. Em formulações de iscas tóxicas, malationa e espinetoram continuam eficientes no controle de *C. capitata*, mesmo com redução de 20% da dose recomendada pelo fabricante de cada produto, e podem ser formuladas com Biofruit[®], com Cera Trap[®] e com melão de

cana-de-açúcar sem comprometimento do resultado esperado. Em campo, aplicações de malationa e de deltametrina reduzem a densidade de populações de Coleoptera e a diversidade da macrofauna do solo sob as condições testadas.

Palavras-chave: malationa; deltametrina; espinetoram; macrofauna do solo.

ABSTRACT

Insecticides are of great importance for the development of agricultural productivity, especially in the fruit sector, which requires a large number of applications for the control of insect pests, such as *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae). Among the products most used to control this pest are those of organophosphate groups, pyrethroids and spinosyns, which are applied through total coverage or through the use of toxic baits. However, the high use of these products can cause negative effects to the environment and its biota, mainly to soil organisms. Thus, this study aimed to evaluate the susceptibility of *C. capitata* to malathion, deltamethrin and spinetoram doses in isolation and in the formulation of toxic baits, and the effects of these insecticides on soil macrofauna. The evaluation of the lethality of the insecticides in isolation was carried out on the immature stages and the adults of *C. capitata*, via contact and via ingestion, applying doses obtained by decreasing the recommended dose in intervals of 20%, this being the minimum dose used. The evaluated parameters were: (1) viability of eggs and (2) of pupae and (3) mortality of larvae and (4) of adults. When the products were associated with the attractants, forming toxic baits, the flies were offered mixtures with the insecticides at the dose recommended by the manufacturer (D100) and a dose of 80% of the recommended dose (D80). After offering the baits to the insects, their toxicity was evaluated as a function of time. To evaluate the effect of insecticides on macrofauna, they were applied at the dosage recommended by the manufacturer, using twice the volume of spray for terrestrial applications. After application, the soil macrofauna was evaluated based on the Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) method, with subsequent determination of density (individuals per m²), richness, Shannon-Weaver diversity indices (H') and soil evenness. Pielou (J'). As a result, in applications using only insecticides, it was observed that spinetoram and malathion, when applied via contact, caused high mortality in adults, with LD90 at subdoses of 43.74% (52.48 g p.c. ha⁻¹) and 68.81% (137.62 ml p.c. 100L⁻¹), respectively. For the egg phase, only the defensive with deltamethrin presented LD50. The stages of larvae and pupae did not suffer negative effects from contact doses, however, they were affected by insecticides, when larvae showed a mortality of 52% for spinetoram and 61% for malathion. By ingestion, it was only possible to estimate the LD50 with malathion and deltamethrin in adults, for larvae the lethality was below 20% with the three insecticides. With the use of toxic baits, higher rates of susceptibility of *C. capitata* were observed in formulations with malathion at D80 in a median lethal time (TL50) of 1 hour, regardless of the attractant used. As for the baits formulated with spinetoram, a 6-hour TL50 at D80 was observed. In contrast, the lowest susceptibility was observed in baits formulated with deltamethrin, regardless of the dose and attractant used. For the effects on soil macrofauna, it was found that malathion, deltamethrin and spinetoram did not affect the total density nor the density by taxonomic groups, except in the Coleoptera group, which showed a lower density of individuals per m² in soil treated with malathion and deltamethrin. The diversity of individuals in the evaluated groups was also reduced by deltamethrin. Finally, it can be stated that deltamethrin has low efficiency in the control of *C. capitata* adults, via direct contact and with the use of toxic baits. Spinetoram and malathion have an efficiency of 90% on *C. capitata* at subdoses of 43.74% (52.48 g p.c. ha⁻¹) and 68.81% (137.62 mL p.c. 100L⁻¹) respectively, via direct contact. In formulations of toxic baits, malathion and spinetoram remain efficient in controlling *C. capitata*, even with a 20% reduction in the dose recommended by the manufacturer of each product, and can be formulated with

Biofruit®, with Cera Trap® and with sugarcane molasses -de-sugar without compromising the expected result. In the field, malathion and deltamethrin applications reduce the density of Coleoptera populations and the diversity of soil macrofauna under the tested conditions.

Keywords: malathion; deltamethrin; spinetoram; soil macrofauna.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

- Figura 1** – Probabilidade (p) de mortalidade de adultos de *Ceratitis capitata* após 72 h do tratamento por contato com diferentes doses de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, dentro de cada nível de dose, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R. DL_{50} e DL_{90} = Dose letal para 50% e 90% da população, respectivamente..... 26
- Figura 2** – Probabilidade (p) de mortalidade de adultos de *Ceratitis capitata* após 72 h de ingestão contendo diferentes doses de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R. DL_{50} = Dose letal para 50% da população..... 26
- Figura 3**– Probabilidade (p) de redução na eclosão de larvas de *Ceratitis capitata* após a imersão de ovos em diferentes doses de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R. DL_{50} = Dose letal para 50% da população..... 27
- Figura 4** – Probabilidade (p) de mortalidade de larvas de *Ceratitis capitata* via contato em diferentes doses de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R..... 28
- Figura 5** – Probabilidade (p) de mortalidade de larvas de *Ceratitis capitata* após ingestão de dieta contendo diferentes doses de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R..... 28
- Figura 6** – Probabilidade (p) de redução na emergência de adultos de *Ceratitis capitata* após a imersão de pupas em diferentes doses de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R..... 29

ARTIGO II

- Figura 1** – Eficiência de iscas tóxicas utilizando diferentes doses de deltametrina, espinetoram e malationa com o atrativo Biofruit® sobre *Ceratitis capitata*, de acordo com a probabilidade de sobrevivência em função do tempo..... 41
- Figura 2** – Eficiência de iscas tóxicas utilizando malationa, deltametrina e espinetoram com o atrativo Cera Trap® sobre *Ceratitis capitata*, de acordo com a probabilidade de sobrevivência em função do tempo..... 42
- Figura 3**– Tempo de sobrevivência de adultos de *Ceratitis capitata* após o fornecimento de iscas tóxicas formuladas com malationa, deltametrina e espinetoram e o atrativo melão de cana-de-açúcar..... 43

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1 – Inseticidas e dosagens avaliadas para o manejo de <i>Ceratitis capitata</i>	23
---	----

ARTIGO II

Tabela 1 – Inseticidas e dosagens avaliadas para o manejo de <i>Ceratitis capitata</i>	38
---	----

Tabela 2 – Eficiência de iscas tóxicas, formuladas com deltametrina, espinetoram e malationa mais os atrativos alimentares Biofruit [®] , Cera Trap [®] e melão de cana-de-açúcar de acordo com mortalidade de adultos de <i>Ceratitis capitata</i> , após 72h de ingestão.....	40
--	----

Tabela 3 – Tempo letal TL ₅₀ (horas) e intervalo de confiança (IC) em adultos de <i>Ceratitis capitata</i> exposto a iscas tóxicas.....	41
---	----

ARTIGO III

Tabela 1 – Precipitação (mm), temperatura média (°C), umidade relativa do ar (%), volume de vento (m/s), teor de umidade e temperatura do solo registrados mensalmente durante novembro de 2021 a janeiro 2022, em Areia-PB.....	59
---	----

Tabela 2 – Valores médios e erro padrão da densidade (ind. m ²) total dos grupos taxonômicos da macrofauna do solo, amostrados pelo método de coleta TSBF em área tratada com inseticidas no campo experimental da UFPB – <i>campus</i> II.....	61
--	----

Tabela 3 – Médias e intervalo de confiança (CI) de riqueza, índices de diversidade de Shannon-Weaver (H') e equabilidade de Pielou (J') dos grupos taxonômicos da macrofauna do solo, amostrados pelo método de coleta TSBF em área tratada com inseticidas no campo experimental da UFPB – <i>campus</i> II.....	61
--	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	13
REFERÊNCIAS.....	15
CAPÍTULO I.....	17
LETALIDADE DE INSETICIDA SOBRE FASES IMATURA E ADULTA DE <i>Ceratitis capitata</i> (DIPTERA: TEPHRITIDAE)	17
RESUMO.....	17
MATERIAL E MÉTODOS	20
RESULTADOS	23
DISCUSSÃO.....	27
CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS.....	30
ARTIGO II.....	32
SUSCETIBILIDADE DE <i>Ceratitis capitata</i> (DIPTERA: TEPHRITIDAE) A INSETICIDAS E ATRATIVOS ALIMENTARES.....	32
MATERIAL E MÉTODOS	35
RESULTADOS	37
DISCUSSÃO.....	41
CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS.....	43
RESUMO.....	45
INTRODUÇÃO	57
MATERIAIS E MÉTODOS	58
RESULTADOS	60
DISCUSSÃO.....	61
CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIA.....	63

INTRODUÇÃO GERAL

Reconhecido mundialmente pela grande produção e diversificação de frutas, o Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial do setor, atrás apenas da China e da Índia (FAO, 2023). No ano de 2021, sua produção foi estimada em 41,3 toneladas, com contribuição de aproximadamente R\$ 49,8 bilhões na economia brasileira (HORTI&FRUTI, 2022). No entanto, o setor frutícola enfrenta sérios problemas fitossanitários para o aumento da produção, como a ocorrência de insetos-praga da ordem Diptera e família Tephritidae, conhecidos popularmente como moscas-das-frutas.

Os gêneros de maior importância para a fruticultura são *Anastrepha* e *Ceratitis*, sendo esse último representado no Brasil por uma única espécie, a *Ceratitis capitata* (Wiedemann 1824). Seu hábito cosmopolita e elevado poder de polifagia classifica a espécie como uma das principais pragas do setor frutícola (BERNARDI et al., 2019; AL-BEHADILI et al., 2020). Os danos são causados pelas fêmeas durante a introdução do ovipositor na epiderme dos frutos e posteriormente com o desenvolvimento larval no seu interior, impossibilitando sua comercialização. Além dos danos supracitados, outra consequência provocada é o embargo às exportações de frutas para países livres da ocorrência da praga (FOLLETT et al., 2019; GROVÉ; DE JAGER; THELEDI, 2019; GUILLEM-AMAT et al., 2020).

Diante dos problemas acometidos pela *C. capitata* tornar-se indispensável a adoção de medidas para o seu controle. Esse por sua vez, é realizado principalmente pelo uso de inseticidas sintéticos, como os dos grupos químicos organofosforados, piretróides e espinosinas, a partir de elevadas aplicações via *sprays* de cobertura ou através da utilização de iscas tóxicas (DEMANT et al., 2019). Esses produtos são amplamente utilizados e conhecidos por sua alta toxicidade agindo diretamente no sistema nervoso dos insetos (CASIDA; DURKIN, 2013; HARTER et al., 2015; SANTOS et al., 2016).

Apesar da eficiência comprovada desses produtos sobre *C. capitata*, sabe-se que a dose recomendada para o controle não atinge de forma efetiva o alvo durante as aplicações. A ação das moléculas aplicadas sofre alterações provocadas pelos fatores ambientais e são desviadas do alvo por meio da deriva (PREFTAKES et al., 2019; GOEBEL et al., 2022). As alterações das moléculas por meio dos fatores ambientais são bastante preocupantes, principalmente quando utilizadas iscas tóxicas, que demandam mais tempo no campo até o contato com o inseto (HARTER et al., 2015). Com isso, torna-se interessante o estudo de subdoses para avaliar a eficiência de inseticidas quando seus ingredientes ativos sofrem degradação em níveis abaixo da concentração de 100% e verificar o nível de resistência de insetos-alvos aos produtos.

Além disso, também se faz necessário estudos que avaliem a ação desses produtos sobre os organismos não-alvos, uma vez que, as pulverizações não se limitam apenas ao inseto-praga, sendo aplicada de forma igualitária por todo campo (CECH et al. 2023). Portanto, vários ambientes podem ser afetados durante as aplicações e de acordo com KAFAEI et al. (2020), o solo é o ambiente mais propenso a contaminação por estar totalmente exposto às práticas agrícolas. Desta forma, esse trabalho teve como objetivo avaliar a suscetibilidade de *C. capitata* a doses de malationa, deltametrina e espinetoram de forma isolada e na formulação de iscas tóxicas, e os efeitos desses inseticidas na macrofauna do solo.

REFERÊNCIAS

AL-BEHADILI, F. J. M. et al. Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) eggs and larvae responses-to a low-oxygen/high-nitrogen atmosphere. **Insects**, v. 11, n. 11, p. 802, 13 nov. 2020.

Anuário Brasileiro de Horti & Fruti 2022 – Editora Gazeta. Disponível em: <<https://www.editoragazeta.com.br/produto/anuario-brasileiro-de-horti-fruti2022/>>. Acesso em: 14/03/2023.

BERNARDI, D. et al. Side effects of toxic bait formulations on *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, 29 ago. 2019.

CASIDA, JE; DURKIN, KA. Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and secondary effects. **Annual Review of Entomology**, v. 58, n. 1, p. 99–117, 7 jan. 2013.

CECH, R. et al. Pesticide drift mitigation measures appear to reduce contamination of non-agricultural areas, but hazards to humans and the environment remain. **Science of The Total Environment**, v. 854, p. 158814, jan. 2023.

DEMANT, L.L. et al. Deltamethrin resistance in *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae): Selections, monitoring and effect of synergist. **Crop Protection**, v. 121, p. 39–44, jul. 2019.

FOLLETT, P. A. et al. Host status of “Scifresh” apples to the invasive fruit fly species *Bactrocera dorsalis*, *Zeugodacus cucurbitae*, and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 22, n. 2, p. 458–470, jun. 2019.

GOEBEL, K. M. et al. Tallgrass prairie wildlife exposure to spray drift from commonly used soybean insecticides in Midwestern USA. **Science of the Total Environment**, v. 818, p. 151745, 2022.

GROVÉ, T.; DE JAGER, K.; THELEDI, M. L. Fruit flies (Diptera: Tephritidae) and *Thaumatotibia leucotreta* (Meyrick) (Lepidoptera: Tortricidae) associated with fruit of the family Myrtaceae Juss. In South Africa. **Crop Protection**, v. 116, p. 24–32, fev. 2019.

GUILLEM-AMAT, A. et al. Functional characterization and fitness cost of spinosad-resistant alleles in *Ceratitis capitata*. **Journal of Pest Science**, v. 93, n. 3, p. 1043–1058, 15 fev. 2020.

HARTER, W. R. et al. Toxicities and residual effects of toxic baits containing spinosad or malathion to control the adult *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae). **Florida Entomologist**, v. 98, n. 1, p. 202–208, mar. 2015.

KAF AEI, R. et al. Organochlorine pesticides contamination in agricultural soils of southern Iran. **Chemosphere**, v. 240, p. 124983, fev. 2020.

Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação: **FAO no Brasil | Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<https://www.fao.org/brasil/pt/>>. Acesso em: 05/03/2023.

PREFTAKES, C. J. et al. Effect of insecticide formulation and adjuvant combination on agricultural spray drift. **PeerJ**, v. 7, p. e7136, 2019.

SANTOS, M. F. et al. Non-targeted insecticidal stress on the Neotropical brown stink bug *Euschistus heros*. **Crop Protection**, v. 82, p. 10–16, abr. 2016.

CAPÍTULO I

LETALIDADE DE INSETICIDA SOBRE FASES IMATURA E ADULTA DE *Ceratitis capitata* (DIPTERA: TEPHRITIDAE)

RESUMO

Ceratitis capitata é considerada uma praga importante para as frutíferas em todo o mundo. Seu controle é realizado principalmente pelo método químico usando organofosforados, piretróides e espinosinas. Avaliou-se a letalidade de doses de malationa, deltametrina e espinetoram sobre os estágios imaturos e adultos de *C. capitata* em condições de laboratório. As fases de ovo, larva, pupa e adultos foram expostas às doses dos inseticidas via contato e ingestão, aplicando-se doses obtidas por meio da diminuição da dose recomendada em intervalos de 20%, sendo essa a dose mínima utilizada. Os parâmetros avaliados foram: viabilidade de ovos e pupas, mortalidade de larvas e adultos. Observou-se que espinetoram e malationa quando aplicados via contato causaram mortalidade elevada de adultos, com CL_{90} nas concentrações de 43,74% (52,48 g p.c. ha^{-1}) e 68,81% (137,62 mL p.c. $100L^{-1}$) respectivamente. Na fase de ovo apenas o defensivo com deltametrina apresentou CL_{50} . As fases de larvas e pupas não sofreram efeito negativo das concentrações, no entanto, sofreram efeito dos inseticidas apresentando mortalidade de 52% para espinetoram e 61% para malationa. Por ingestão, a letalidade dos adultos com deltametrina e malationa permitiu a estimativa apenas da CL_{50} , e para larvas a letalidade foi abaixo de 20% nos três inseticidas, assim como para as pupas. Deltametrina apresenta baixa letalidade no controle de adultos de *C. capitata*. Espinetoram e malationa apresentam letalidade de 90% sobre *C. capitata* utilizando concentrações de 43,74% (52,48 g p.c. ha^{-1}) e 68,81% (137,62 mL p.c. $100L^{-1}$) respectivamente, via contato direto, nas condições testadas.

Palavras-chave: Malationa; Deltametrina; Espinetoram; Mosca-do-mediterrâneo.

ABSTRACT

Ceratitis capitata is considered an important pest for fruit trees worldwide. Its control is carried out mainly by the chemical method using organophosphates, pyrethroids and spinosyns. The lethality of malathion, deltamethrin and spinetoram doses on the immature and adult stages of *C. capitata* under laboratory conditions was evaluated. The egg, larva, pupa and adult stages were exposed to insecticide doses via contact and ingestion, applying doses obtained by decreasing the recommended dose in 20% intervals, which is the minimum dose used. The evaluated parameters were: viability of eggs and pupae, mortality of larvae and adults. It was observed that spinetoram and malathion when applied via contact caused high mortality in adults, with LC90 at concentrations of 43.74% (52.48 g p.c. ha⁻¹) and 68.81% (137.62 mL p.c. 100L⁻¹) respectively. In the egg phase, only the pesticide with deltamethrin showed LC50. The stages of larvae and pupae did not suffer a negative effect from the concentrations, however, they were affected by the insecticides, showing a mortality rate of 52% for spinetoram and 61% for malathion. By ingestion, the lethality of adults with deltamethrin and malathion allowed estimating only the LC50, and for larvae the lethality was below 20% in the three insecticides, as well as for the pupae. Deltamethrin has low lethality in the control of *C. capitata* adults. Spinetoram and malathion have a lethality of 90% on *C. capitata* using concentrations of 43.74% (52.48 g p.c. ha⁻¹) and 68.81% (137.62 mL p.c. 100L⁻¹) respectively, via direct contact, under the conditions tested.

Keywords: Malathion; Deltamethrin; Spinetoram; Mediterranean fly.

INTRODUÇÃO

A mosca do Mediterrâneo (*Ceratitis capitata*, Weidemann, 1824) (Diptera: Tephritidae) é considerada praga chave para a fruticultura mundial, pois acarreta danos diretos que reduzem a quantidade e qualidade dos frutos (Baronio et al., 2019). Além disso, danos indiretos também são observados como restrições quarentenárias impostas por países importadores de frutas frescas, que podem estar relacionadas com a presença de larvas e também com a existência residual de defensivos agrícolas utilizados no controle desta praga (Baronio et al., 2018).

O controle químico se destaca como a principal forma de manejo para *C. capitata*, a partir do uso de inseticidas em aplicações via *sprays* de cobertura ou misturados a atrativos alimentares formando iscas tóxicas, com aplicações baseadas no nível populacional presente nos pomares (Baronio et al., 2019). Os principais grupos químicos utilizados são os organofosforados, piretróides e espinosinas (Morais et al., 2021).

Embora seja indicada que as aplicações sigam a dose recomendada pelo fabricante, nos últimos anos, estudos com a utilização de subdoses têm sido cada vez mais frequentes (Dickel et al., 2018; Demant et al., 2019; Martelli et al., 2020; Bažok et al., 2021). A utilização de subdoses contribuem com a preservação dos agentes de controle biológico (Corso et al., 1999), ao mesmo tempo que reduzem o acúmulo de resíduos e os custos de produção, trazendo benefícios econômicos para o produtor (Bažok et al., 2021). Esses estudos ainda possibilitam a avaliação da eficiência de inseticidas quando seus ingredientes ativos sofrem degradação em níveis abaixo da concentração de 100% e verificam o nível de tolerância de insetos-alvos a esses produtos.

Desta forma, subdoses de inseticidas agrícolas malationa, deltametrina e espinetoram podem ser testadas quanto à efetividade no controle de diferentes estágios de *C. capitata*. Estudos sobre a ação de inseticidas agrícolas sobre diferentes fases de vida do inseto tornam-se bastante interessantes, uma vez que, inseticidas com efeitos deletérios em diferentes estágios da praga são os mais indicados para o manejo de pragas (Rahman: Broughton, 2016).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a letalidade de doses de malationa, deltametrina e espinetoram sobre os estágios imaturos e adultos de *C. capitata* em ambiente de laboratório.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Invertebrados (LABIN), pertencente ao Departamento de Biociências do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), *Campus II*, Areia – PB.

Os insetos utilizados nos testes foram provenientes da população de *C. capitata* mantida no referido laboratório durante oito anos, livre da pressão de seleção por inseticidas. Na fase larval os insetos foram alimentados com dieta artificial composta por 400g de cenoura, 4g de nipagin e 80g de levedo de cerveja (Brito, 2007), e durante a fase adulta com solução de mel a 10%, mantidas em sala climatizada com temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotofase de 12 horas. Os bioensaios via contato e ingestão foram realizados sobre diferentes fases de desenvolvimento de *C. capitata*: adultos com cinco dias, pupas com três dias, larvas de terceiro ínstar (oito dias) e ovos com um dia de idade.

Os produtos selecionados para o estudo são formulações comerciais, escolhidos a partir dos seguintes critérios: apresentarem registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle de *C. capitata*; por fazerem parte de grupos químicos diferentes; apresentarem modo de ação de contato e de ingestão; por estarem enquadrados entre as categorias IV e V da classificação toxicológica, considerados como produto pouco tóxico ou improvável de causar dano agudo; por serem de fácil aquisição e oferecerem bom custo-benefício.

Todos os ingredientes ativos foram testados na dosagem recomendada da formulação comercial registrada para *C. capitata* (em mL / 100 L⁻¹ ou g / ha⁻¹), seguindo a descrição dos rótulos de cada produto e as instruções fornecidas pelo MAPA. Ainda foram testadas quatro concentrações (diluições da dose recomendada), obtidas através da diminuição da dose inicial, reduzidas em intervalos equidistantes de 20% entre cada dose, até o limite de 20% da dose recomendada (Tabela 1). Como tratamento controle foi utilizada água destilada.

Tabela 1. Inseticidas e dosagens avaliadas para o manejo de *Ceratititis capitata*

Ingrediente ativo	Grupo químico	Concentração*		
		i.a	p.c	(%)**
		(mL/100 L de H ₂ O e g/ha)		
Malationa	Organofosforado	1000 g/L	200 mL	100
			160 mL	80
			120 mL	60
			80 mL	40
			40 mL	20
Deltametrina	Piretróide	25 g/L	50 mL	100
			40 mL	80
			30 mL	60
			20 mL	40
			10 mL	20
Espinetoram	Espinosinas	250 g/kg	120 g/ha	100
			96 g/ha	80
			72 g/ha	60
			48 g/ha	40
			24 g/ha	20
Controle (água)	-		-	-

*Concentração: g do i.a. (ingrediente ativo) e mL ou g do p.c. (produto comercial) 100L/ha. **Porcentagem baseada na dose recomendada.

Para avaliar a mortalidade, com aplicação via contato, os adultos foram capturados das gaiolas de criação em tubos de vidro (25 x 85mm) selados com filme plástico de PVC, onde foram anestesiados ao frio (-1 °C/4 min). Os insetos sedados foram transferidos para placas de Petri (90 x 15 mm) forradas com papel filtro, onde, em capela de exaustão de gases, receberam aplicações dos inseticidas, com auxílio de pulverizador manual (0,5 mL de calda por repetição). Para o tratamento controle, foi pulverizada apenas água destilada.

Após a aplicação, os insetos foram mantidos em gaiolas confeccionadas com recipientes plásticos transparentes (200 mL), forrados com papel filtro na parte inferior, desprovidos de tampa, sendo esta substituída por tecido tipo *voil* e alimentados com mel a 10% e água destilada, fornecidos sobre o *voil* por meio de capilaridade até o final da avaliação. Para cada tratamento

foram realizadas 10 repetições, com cinco casais cada ($n = 100$). As avaliações ocorreram durante 72 horas após a aplicação, sendo considerados mortos os insetos que não responderam ao toque de um pincel de cerdas macias.

Para a avaliação da mortalidade gerada pelos inseticidas via ingestão, utilizou-se uma metodologia similar à de contato para a sedação, deposição nas gaiolas de criação e número de insetos por tratamento. Os insetos sedados foram transferidos para as gaiolas onde foram privados de alimento durante 12 horas (Baronio et al., 2019). Em seguida, os inseticidas foram oferecidos aos insetos durante quatro horas em solução aquosa (40 μ L), através de um chumaço de algodão sobre lamínulas de 18x18 mm. No tratamento controle, apenas água destilada foi fornecida aos insetos. Após quatro horas, os chumaços de algodão foram removidos das gaiolas e os adultos foram alimentados com dieta artificial e água destilada durante o período de avaliação (72 horas). Os insetos foram considerados mortos quando não exibiam reação ao toque de um pincel de cerdas macias.

Para avaliar a viabilidade de ovos de *C. capitata*, foram selecionados ovos viáveis, e estes foram imersos em 1 mL de cada tratamento por 30 segundos. Posteriormente, 100 ovos distribuídos em 10 repetições foram utilizados para cada tratamento, os quais foram colocados sobre 10 gramas de dieta artificial para larvas de *C. capitata* (em placas de Petri).

As avaliações ocorreram no sexto dia após a inoculação, quando foi verificada a presença de larvas na dieta. A viabilidade dos ovos foi avaliada baseando-se na redução de eclosão das larvas proporcionada em cada tratamento.

Para a avaliação da mortalidade larval gerada pelos inseticidas via contato, 10 larvas de terceiro instar foram utilizadas por repetição, sendo essas imersas em 1 mL de cada tratamento por 30 segundos e, em seguida, foram transferidas com o auxílio de peneiras para placas de Petri contendo papel filtro, a partir do qual foi retirado assim o excesso do produto. Por fim, as larvas foram transferidas para placas de Petri contendo areia. As avaliações para mortalidade larval ocorreram diariamente durante quatro dias após a aplicação dos produtos.

Na avaliação da mortalidade gerada pelos tratamentos via ingestão, grupos de 10 larvas no início do terceiro instar foram acomodadas em placas de Petri (10 placas por tratamento), contendo 10 g de dieta padrão, à qual foi adicionado 1 mL de cada tratamento previamente diluído em água destilada. Para o tratamento controle, foi adicionada à dieta apenas água destilada. A taxa de mortalidade dos indivíduos foi avaliada diariamente por um período de 10 dias, a partir do acondicionamento dos insetos nas placas contendo a dieta com os tratamentos.

Os bioensaios para avaliara a viabilidade das pupas após o tratamento cm os inseticidas foram realizados utilizando um total de 10 pupas (por repetição) com três dias de idade, as quais foram imersas em 1 mL de cada tratamento durante 30 segundos e em seguida, foram colocadas em peneiras para retirada do excesso do produto e transferidas para placas de Petri contendo papel filtro. As avaliações ocorreram no quinto dia após o tratamento, a fim de se avaliar a redução da emergência dos adultos em decorrência da aplicação dos inseticidas.

Os dados para mortalidade larval e de adultos, redução na eclosão das larvas, e redução na emergência dos adultos foram corrigidos pela Fórmula de Abbott (1925). Posteriormente, esses dados foram avaliados por meio de modelo linear generalizado, considerando-se a família quasibinomial e *link* da função *logit*. Os modelos com família quasibinomial foram utilizados porque os modelos com a família gaussiana e a família binomial apresentaram *overdispersion* (UNESP, 2011). A significância dos efeitos foi determinada de acordo com o teste qui-quadrado da razão de verossimilhança ($P < 0,05$). Quando o efeito das doses dos inseticidas foi significativo e o pseudo- R^2 foi igual ou superior a 60%, o modelo de regressão foi ajustado e a CL_{50} e/ou CL_{90} foram estimadas utilizando-se o pacote *nleqslv* do *software* R. As médias foram contrastadas com o uso da função *glht* do pacote *multcomp* do R (Hothorn et al.,2008). Todas as análises foram realizadas com auxílio do *software* estatístico R. (Core Team, 2022).

RESULTADOS

Com base nas curvas de concentração resposta, foi possível estimar a CL_{50} para adultos de *C. capitata* quando tratados com deltametrina e a CL_{90} quando tratados com malationa e espinetoram com a ação de contato. Deltametrina apresentou-se menos letal que os demais não atingindo 90% da mortalidade mesmo na dose de 100% (50 mL p.c. L^{-1}). A CL_{50} foi estimada em uma concentração de 76,55%, o que corresponde a 38,27 mL p.c. L^{-1} da dose recomendada. Já espinetoram e malationa apresentaram CL_{90} em concentrações de 43,74% (52,48 g p.c. ha^{-1}) e 68,81% (137,62 mL p.c. $100L^{-1}$), respectivamente (Figura 1).

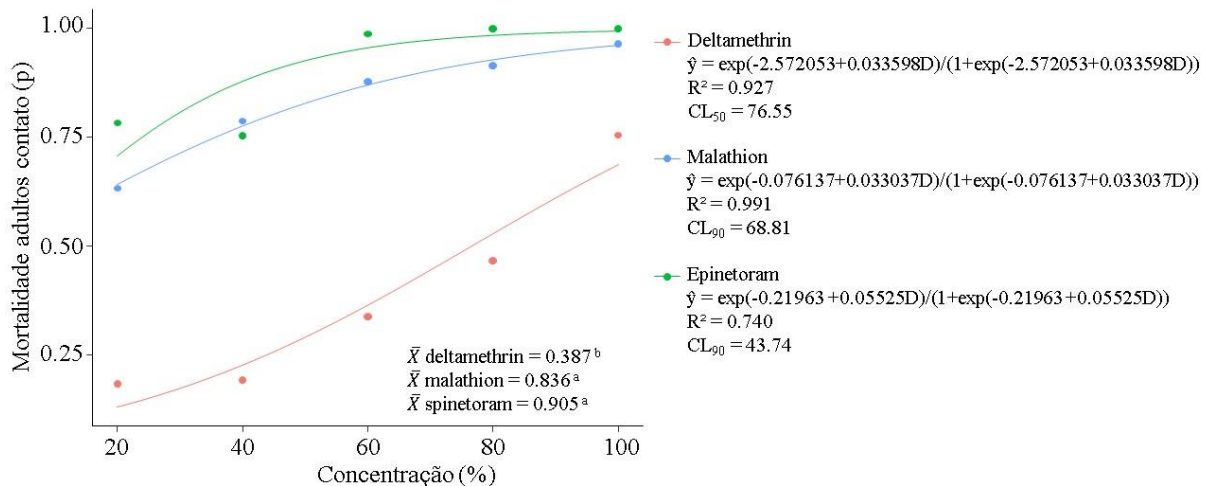


Figura 1. Probabilidade (p) de mortalidade de adultos de *Ceratitis capitata* 72 h após o tratamento por contato com diferentes concentrações de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, dentro de cada nível de concentração, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R. CL_{50} e CL_{90} = concentração letal para 50% e 90% da população, respectivamente.

Nos testes via ingestão, não ocorreu interação das concentrações e inseticidas. A taxa de mortalidade dos adultos ficou abaixo de 70%, apresentando CL_{50} em subdoses de 57,98% (28,99 mL p.c. 100L⁻¹) para deltametrina e 60,58% (121,18mL p.c. 100L⁻¹) para malationa. Devido à baixa mortalidade proporcionada pelo espinetoram não foi estimada a concentração letal, como pode ser observado na Figura 2.

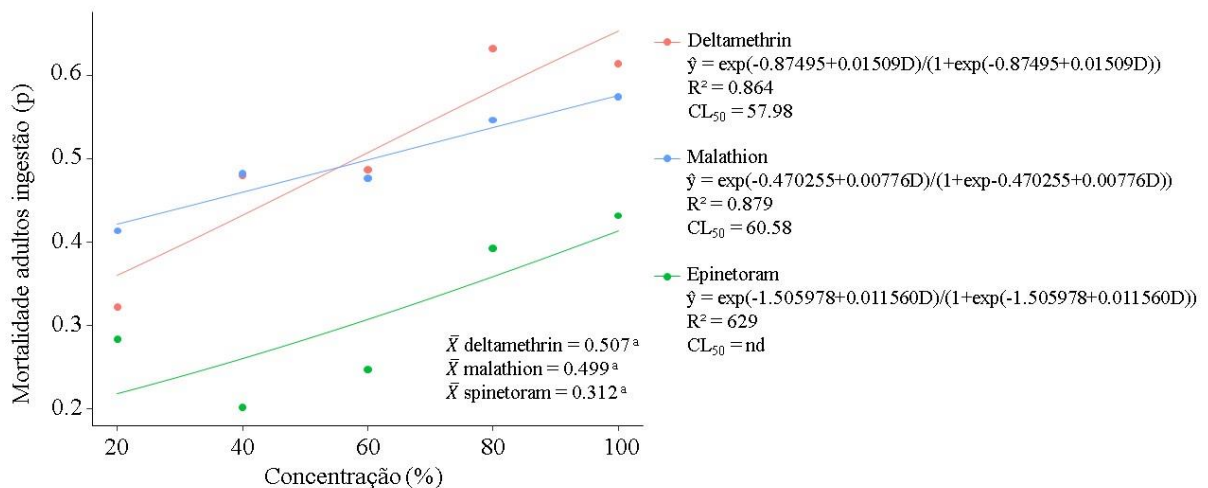


Figura 2. Probabilidade (p) de mortalidade de adultos de *Ceratitis capitata* 72 h após ingestão contendo diferentes concentrações de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R. CL_{50} = Concentração letal para 50% da população.

Os resultados para redução na eclosão das larvas após tratamento dos ovos não apresentaram interação das concentrações e os produtos estudados, havendo, contudo, um efeito isolado dos mesmos. Nesse contexto, deltametrina destaca-se por apresentar toxicidade sobre ovos de *C. capitata*, atingindo a CL_{50} na concentração de 50,77% (25,38 mL p.c. 100L⁻¹). Já para malationa e espinetoram não foi possível estimar a CL_{50} , visto que em todas as concentrações a mortalidade foi inferior a 40 e 20% respectivamente (Figura 3).

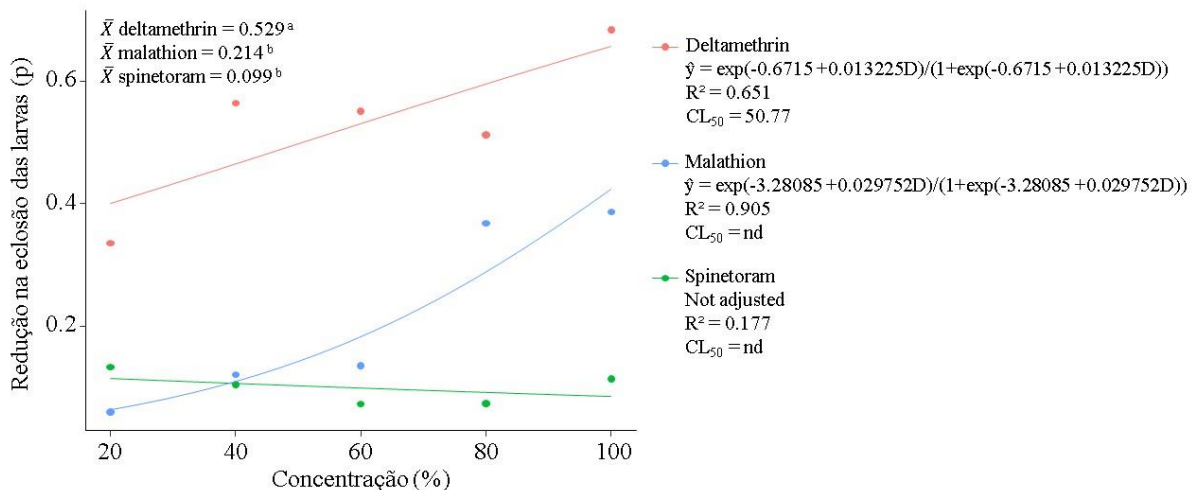


Figura 3. Probabilidade (p) de redução na eclosão de larvas de *Ceratitidis capitata* após a imersão de ovos em diferentes concentrações de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R. CL_{50} = Concentração letal para 50% da população.

Quando as larvas foram tratadas via contato não houve efeito para as concentrações, apenas o fator inseticida influenciou na mortalidade. Independentemente da concentração utilizada, espinetoram e malationa promoveram maior mortalidade larval, cerca de 52 e 61% respectivamente, quando comparado com o deltametrina, cuja mortalidade foi abaixo de 20% (Figura 4).

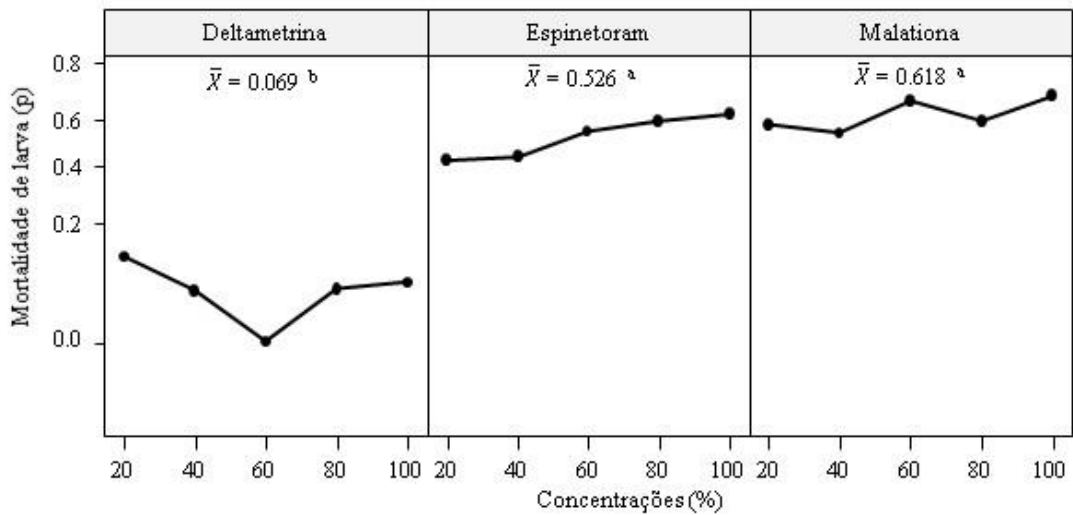


Figura 4. Probabilidade (p) de mortalidade de larvas de *Ceratitidis capitata* via contato em diferentes concentrações de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R.

Quando as larvas foram tratadas via ingestão o efeito foi significativo apenas para o fator inseticida. No entanto, a probabilidade máxima de mortalidade mostrou-se inferior a 15% para todos os tratamentos (Figura 5).

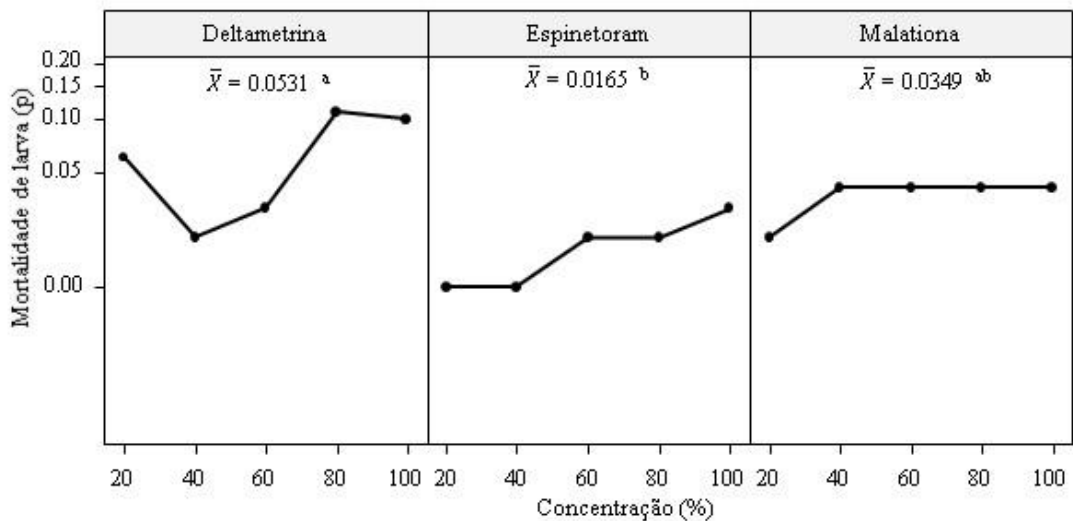


Figura 5. Probabilidade (p) de mortalidade de larvas de *Ceratitidis capitata* após ingestão de dieta contendo diferentes concentrações de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R.

A redução da emergência dos adultos após tratamento das pupas foi significativa apenas no fator inseticidas. Contudo, foi observada uma baixa redução na emergência dos adultos, sendo essa em torno de 20, 15 e 11% para deltametrina, espinetoram e malationa respectivamente (Figura 6).

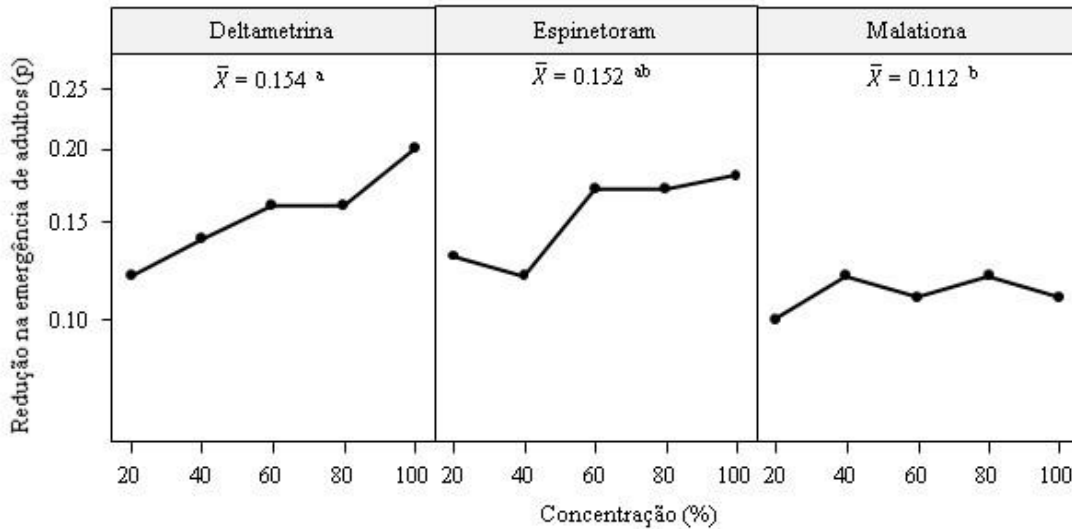


Figura 6. Probabilidade (p) de redução na emergência de adultos de *Ceratitis capitata* após a imersão de pupas em diferentes concentrações de deltametrina, espinetoram e malationa. Letras diferentes, indicam diferença significativa entre inseticidas mediante a função glht do pacote multcomp do R.

DISCUSSÃO

Fica evidente diante dos resultados encontrados nessa pesquisa a alta efetividade do inseticida espinetoram em adultos de *C. capitata* com aplicações via contato, tendo em vista que o produto atingiu 90% da população utilizando uma concentração inferior a 50% da dose recomendada pelo fabricante. Tais resultados evidenciam o alto impacto desse inseticida no momento da aplicação e a persistência do efeito sobre a praga mesmo após perda de 50% desses princípios ativos.

A toxicidade sobre adultos de *C. capitata* utilizando subdoses de espinetoram também foi constatada por Baldin et al. (2018), que observaram um efeito elevado desse produto quando comparado a um ingrediente ativo do mesmo grupo químico das espinosinas. Essa alta eficiência da utilização de subdoses de espinetoram também foi confirmada por Bažok et al. (2021), que constataram uma mortalidade de 99% para *Leptinotarsa decemlineata* (Say, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae), com uso de 50% da dose recomendada pelo fabricante.

A elevada toxicidade para o espinetoram pode ser explicada devido a estrutura química de sua molécula, tendo em vista que, o espinetoram (espinosina J e L), é uma modificação semi-sintética do espinosade (espinosina A e D), produzida com o intuito de conferir um amplo espectro de ação e uma maior eficácia para o controle de insetos-praga (Sparks et al, 2008; Sparks et al., 2021).

Em relação à baixa mortalidade encontrada para deltametrina, é possível que *C. capitata* possua alguma característica genética capaz de evitar ou impedir a completa intoxicação pelo produto, até mesmo na dose recomendada, conforme observado. A seleção de indivíduos de *C. capitata* resistente à deltametrina na dose padrão foi observado por Demant et al. (2019), mostrando a necessidade de uma concentração 4,59 vezes maior do que a recomendada para a obtenção de 50% de mortalidade da praga.

No teste via ingestão em adultos, a mortalidade foi inferior a 70% nos três produtos estudados, mesmo quando utilizado a dose recomendada, podendo estar relacionada à falta de produtos fagoestimulantes (atrativos alimentares) junto aos inseticidas ofertados. De acordo com Baldin et al. (2018), esses são responsáveis pela atração e consumo dos inseticidas pelos insetos, tendo em vista que malationa, deltametrina e espinetoram apresentam-se eficientes em formulações de iscas tóxicas para o manejo de *C. capitata* (Grout et al., 2018; Baronio et al., 2019; Morais et al., 2021).

Para o efeito sobre ovos de *C. capitata*, apesar da toxicidade encontrada com inseticida deltametrina, essa é considerada baixa, pois de acordo Baronio et al. (2019) um produto é considerado eficiente no controle de *C. capitata* quando apresenta mortalidade superior a 80%. Isso pode ser explicado pela ação protetora do córion, que age como barreira à penetração de compostos tóxicos no interior dos ovos (Ruiz et al., 2014).

A mortalidade nas larvas via testes de contato foi superior nos produtos malationa e espinetoram, porém, abaixo dos 80% proposto Baronio et al. (2019), para a o controle de *C. capitata*. Esses mesmos autores também observaram efeito do espinetoram sobre larvas de *C. Capitata*, mesmo quando estas se encontravam no interior dos frutos. Entretanto, afirmaram desconhecer o efeito de deltametrina sobre a fase larval de *C. Capitata*.

A mortalidade inferior a 15% apresentada nas larvas via ingestão, pode estar relacionada à falta de consumo da dieta tratada, pois de acordo com Bažok et al. (2021), um dos primeiros sinais provocados no inseto pela ação de inseticidas agrícolas no alimento é a interrupção da alimentação. Essa afirmação fica evidente levando-se em consideração as observações durante as avaliações, como a redução do tamanho das larvas e o aumento da duração desse estágio,

características que podem estar associadas ao baixo consumo de alimento para suprir um desenvolvimento adequado.

Quando o tratamento foi realizado nas pupas, a baixa redução na emergência dos adultos pode ser explicada devido à barreira protetora, formada por uma camada endurecida do último estágio larval, denominado pupário. De acordo com pressupostos de Castilhos et al. (2014), essa camada de proteção das pupas impediu a ação de malationa e deltametrina no estágio de pupas de *Chrysoperla externa* Hagen, 1861 (Neuroptera: Chrysopidae).

Além dos resultados obtidos no presente trabalho fazem-se necessários estudos de campo para comprovar a eficiência dos produtos a partir do uso de subdoses, principalmente sobre adultos de *C. capitata* com aplicações via contato, uma vez que, em condições de campo, vários fatores que não estão presentes em laboratório podem vir a reduzir a eficiência dos produtos agrícolas. Esses estudos possibilitarão um melhor posicionamento com uma tomada de decisão mais segura, podendo reduzir o uso de inseticidas com baixa eficiência sobre a praga, acarretando em maiores benefícios ambientais, ecológicos, sociais e econômicos.

CONCLUSÃO

Deltametrina apresenta baixa letalidade no controle de adultos de *C. capitata*, via contato direto. Malationa e espeniteran se mantêm eficientes no controle de *C. Capitata* via contato direto, com 90% de mortalidade em concentrações de 68,81% (137,62 mL p.c. 100L⁻¹) e 43,74% (52,48 g p.c. ha⁻¹), em condições de laboratório.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, n. 2, p. 265-267, 1925.
- BALDIN, M. M; SCHUTZE, I. X.; BARONIO, A.C GARCIA, F.R.; BOTTON, M. Concentração e tempo letal de iscas tóxicas à base de espinosinas sobre *Ceratitidis capitata* e *Diachasmimorpha longicaudata*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, n. 48: 323–330, 2018.
- BARONIO, C. A; BERNARDI, D.; PARANHOS, B. A.; GARCIA, F. R.; BOTTO, M. Population suppression of *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) on table grapes using toxic baits. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v. 90, p. 3963-3973, 2018.
- BARONIO, C. A.; BERNARDI, D.; SCHUTZE, I. X.; BALDIN, M. M; MACHOTA JR. R.; GARCIA, F.R.; BOTTON, Toxicities of insecticidal toxic baits to control *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae): implications for field management. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 6, p. 2782-2789, 2019.
- BAŽOK, R.; O'KEEFFE, J.; JURADA, I.; DRMIĆ, Z.; KADOIĆ BALAŠKO, M.; & ČAČIJA, M. Low-dose insecticide combinations for colorado potato beetle control. **Agriculture**, v. 11, n. 12, p. 1181, 2021.
- BRITO, C.H. **Influência de tratamentos térmicos no controle da fase larval de *Ceratitidis capitata* Wied. (Diptera: Tephritidae) em frutos de sapoti (*Achras sapota* L.)**. Tese de doutorado. Tese, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2007.
- CASTILHOS, R. V.; GRUTZMACHER, A. D.; SIQUEIRA, P. R. B.; DE MORAES, I. L.; & GAUER, C. J. Selectivity of pesticides used in peach orchards on eggs and pupae of the predator *Chrysoperla externa*. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 1921-1929, 2014.
- CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. 2022. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.Rproject.org/>. Acesso em: 11 de maio de 2022.
- CORSO, I. C.; GAZZONI, D. L.; & NERY, M. E. 1999. Efeito de doses e de refúgio sobre a seletividade de inseticidas a predadores e parasitóides de pragas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 1529-1538, 1999.
- DEMANT, L. L.; BALDO, F. B.; SATO, M. E.; RAGA, A.; & PARANHOS, B. A. J. Deltamethrin resistance in *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae): Selections, monitoring and effect of synergist. **Crop Protection**, v. 121, p. 39-44, 2019.
- DICKEL, F.; MÜNCH, D.; AMDAM, G. V.; MAPPES, J.; & FREITAK, D. Increased survival of honeybees in the laboratory after simultaneous exposure to low doses of pesticides and bacteria. **PLoS One**, v. 13, n. 1, p. e0191256, 2018.
- GROUT, T. G.; STEPHEN, P. R.; & RISON, J. L. Cyantraniliprole can replace malathion in baits for *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Crop Protection**, 112, p. 304-312, 2018.

- HELPS, J. C.; PAVELEY, N. D.; & VAN DEN BOSCH, F. Identifying circumstances under which high insecticide dose increases or decreases resistance selection. **Journal of theoretical biology**, v. 428, p. 153-167, 2017.
- MARTELLI, F.; ZHONGYUAN, Z.; WANG, J.; WONG, C. O.; KARAGAS, N. E.; ROESSNER, U.; ... & BATTERHAM, P. Low doses of the neonicotinoid insecticide imidacloprid induce ROS triggering neurological and metabolic impairments in *Drosophila*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 41, p. 25840-25850, 2020.
- Morais, M. C.; Rakes, M.; Padilha, A. C.; Grützmacher, A. D.; Nava, D. E.; Bernardi, O.; & Bernardi, D. Susceptibility of Brazilian populations of *Anastrepha fraterculus*, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), and *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) to selected insecticides. **Journal of Economic Entomology**, 114: 1291-1297.
- RAHMAN, T.; BROUGHTON, S. Evaluation of thiacloprid and clothianidin (neonicotinoids) as alternative to fenthion (organophosphate) for control of Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in deciduous fruit orchards. **Crop Protection**, v. 90, p. 170-176, 2016.
- RUIZ, M. J.; JUAREZ, L. M.; ALZOGARAY, A. R.; ARRIGHI, F.; ARROYO, L.; GASTAMINZA, G.; ... & VERA, T. Toxic effect of citrus peel constituents on *Anastrepha fraterculus* Wiedemann and *Ceratitis capitata* Wiedemann immature stages. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62 n. 4, p. 10084-91, 2014.
- SPARKS, T. C.; CROUSE, G. D.; DRIPPS, J. E.; ANZEVENO, P.; MARTYNOW, J.; DEAMICIS, C. V.; & GIFFORD, J. Neural network-based QSAR and insecticide discovery: spinetoram. **Journal of Computer-Aided Molecular Design**, n. 22, p. 393-401, 2008.
- SPARKS, T. C.; CROUSE, G. D.; BENKO, Z.; Demeter, D.; Giampietro, N. C.; Lambert, W.; & Brown A.V. The spinosyns, spinosad, spinetoram, and synthetic spinosyn mimics-discovery, exploration, and evolution of a natural product chemistry and the impact of computational tools. **Pest Management Science**, n. 77, p. 3637-3649, 2021
- UNESP - **Universidade Estadual Paulista. Estatística aplicada à ecologia usando o R.** Programa de Pós-Graduação Biologia Animal. São José do Rio Preto, SP Abril, 2011. Disponível em: <https://cran.r-project.org/doc/contrib/Provete-Estatistica_aplicada.pdf>.

ARTIGO II

SUSCETIBILIDADE DE *Ceratitis capitata* (DIPTERA: TEPHRITIDAE) A INSETICIDAS E ATRATIVOS ALIMENTARES

RESUMO

Ceratitis capitata é um inseto limitante para produção frutífera em todo o mundo. Dentre seus métodos de controle a utilização de iscas tóxicas é uma alternativa eficaz e mais sustentável quando comparado as aplicações tradicionais de inseticidas. Objetivou-se nesta pesquisa avaliar a suscetibilidade de *C. capitata* a inseticidas compostos por malationa, deltametrina e espinetoram associados aos atrativos alimentares Biofruit[®], Cera Trap[®] e Melaço de cana-de-açúcar. As iscas foram formuladas através das misturas dos atrativos e inseticidas, na concentração recomendada pelo fabricante (C100) e uma concentração correspondendo a 80% da concentração recomendada (C80). Após oferta das iscas, avaliou-se a toxicidade das mesmas em função do tempo de avaliação. Maiores taxas de suscetibilidade foram encontradas nas formulações com malationa na C80, com TL₅₀ de 1 h, independente do atrativo utilizado. As iscas formuladas com espinetoram na C80 atingiram TL₅₀ com 6 horas. A menor suscetibilidade foi observada nas iscas utilizando deltametrina, independente da concentração e atrativo utilizado. Iscas tóxicas formuladas com malationa e espinetoram continuam eficientes no controle de *C. capitata*, mesmo com redução de 20% da concentração recomendada pelo fabricante para cada produto e podem ser formuladas com Biofruit[®], Cera Trap[®] e Melaço de cana-de-açúcar sem comprometimento negativo do resultado esperado.

Palavras -chave: malationa; deltametrina; espinetoram; moscas-das-frutas.

ABSTRACT

Ceratitis capitata is a limiting insect for fruit production worldwide. Among its control methods, the use of toxic baits is an effective and more sustainable alternative when compared to traditional insecticide applications. The objective of this research was to evaluate the susceptibility of *C. capitata* to insecticides composed of malathion, deltamethrin and spinetoram associated with the food attractants Biofruit®, Cera Trap® and sugarcane molasses. The baits were formulated using mixtures of attractants and insecticides, at the concentration recommended by the manufacturer (C100) and a concentration corresponding to 80% of the recommended concentration (C80). After offering the baits, their toxicity was evaluated as a function of the evaluation time. Higher susceptibility rates were found in formulations with malathion at C80, with TL50 of 1 h, regardless of the attractant used. The baits formulated with spinetoram at C80 reached TL50 with 6 hours. The lowest susceptibility was observed in the baits using deltamethrin, regardless of the concentration and attractant used. Toxic baits formulated with malathion and spinetoram remain efficient in controlling *C. capitata*, even with a 20% reduction in the concentration recommended by the manufacturer for each product and can be formulated with Biofruit®, Trap® Wax and sugarcane molasses without negative commitment of the expected result.

Keywords: malathion; deltamethrin; spinetoram; fruit flies.

INTRODUÇÃO

Ceratitis capitata (Wiedemann, 1824) (Diptera:Tephritidae) é considerada uma praga de importância mundial e se destaca entre os demais tefritídeos por ser uma espécie cosmopolita e por seu alto poder de polifagia, infestando cerca de 360 espécies botânicas (Bernardi et al., 2019; Al-Behadili et al., 2020). De modo geral, os danos são ocasionados pelas fêmeas ao depositarem seus ovos nos frutos, que darão origem as larvas e se alimentarão da polpa dos mesmos impossibilitando sua comercialização, principalmente no comércio exterior devido às restrições quarentenárias impostas por alguns países livres desta praga (Baronio et al., 2018; 2019).

O manejo de *C. capitata* vem sendo realizado principalmente pelo método químico com aplicações de inseticidas em cobertura total foliar. No entanto, esse método de aplicação é mais genérico, apresentando desvantagens como a grande quantidade de ingrediente ativo liberado no ambiente e a falta de seleção a organismos não-alvo (Benelli et al., 2021). Com esse intuito, a utilização de iscas tóxicas surge como uma boa alternativa, devido ao fato de que essas garantem o controle da praga sem a necessidade de aplicações de inseticidas em área total de plantio.

Iscas tóxicas são combinações de inseticidas com fontes proteicas, tendo a finalidade de atrair, induzir a ingestão e provocar a morte do inseto alvo de forma mais efetiva. O sucesso das iscas depende principalmente da eficácia do tóxico utilizado (Gazit & Akiva, 2017). Inseticidas dos grupos químicos organofosforado, piretroide e espinosinas têm sido os mais empregados como agentes letais para essas formulações por apresentarem ação tanto por contato quanto ingestão e possuem registros para o controle de *C. capitata* (Mapa, 2023).

Quanto ao modo de ação, os organofosforados e as espinosinas agem sobre o sistema nervoso afetando as transmissões sinápticas, enquanto o primeiro inibe a enzima acetilcolinesterase, o segundo age como moduladores alostéricos de receptores nicotínicos da acetilcolina. Ambos promovem a hiperexcitabilidade do sistema nervoso central, devido a transmissão desordenada dos impulsos nervosos. Deltametrina age como modulador dos canais de sódio, portanto, interrompendo a sinalização elétrica normal nas células nervosas (Casida & Durkin, 2013; Harter et al., 2015; Santos et al., 2016).

Assim como para os inseticidas, a escolha dos atrativos alimentares é um ponto que merece extrema importância na formulação das iscas tóxicas, pois esses precisam apresentar capacidade de competição atrativa com a alimentação natural disponível no habitat dos insetos, além de possuírem características fagoestimulantes, para serem consumidos pelas moscas

(Raga & Sato, 2005). Diferentes atrativos alimentares são utilizados para formulação de iscas tóxicas, no entanto, o melaço de cana-de-açúcar e as proteínas hidrolisadas tem sido os atrativos mais usados (Botton et al. 2016; Raga & Galdino 2018; Santos 2022).

O odor e palatabilidade dos atrativos influenciam no maior consumo das iscas, diminuindo a necessidade de alta concentração do tóxico (Grout et al., 2018). Ponto de extrema relevância, levando em consideração que mesmo após a degradação parcial do princípio ativo ao longo do tempo as iscas tóxicas continuarão eficientes, solucionando um dos principais problemas no uso dessas em campo. Assim, se faz necessário a condução de estudos que verifiquem o grau de suscetibilidade da praga às iscas tóxicas, quanto a possível degradação e redução do efeito dos ingredientes ativos e a seus atrativos alimentares. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a suscetibilidade de *C. capitata* a inseticidas compostos por malationa, deltametrina e espinetoram associados aos atrativos alimentares Biofruit[®], Cera Trap[®] e Melaço de cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Invertebrados (LABIN), pertencente ao Departamento de Biociências do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), *Campus II*, Areia – PB.

Os insetos adultos (com no máximo cinco dias de idade) utilizados nos testes foram provenientes da população de *C. capitata* mantida em laboratório durante oito anos, livre da pressão de seleção por inseticidas. Na fase larval, os insetos foram alimentados com dieta artificial composta por 400g de cenoura, 4g de nipagin e 80g de levedo de cerveja (Brito, 2007), e durante a fase adulta com solução de mel a 10%, mantidas em sala climatizada com temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotofase de 12 horas.

Os inseticidas selecionados para o estudo foram formulações comerciais com os ingredientes ativos deltametrina, espinetoram e malationa. Esses foram escolhidos a partir dos seguintes critérios: por apresentar registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle de *C. capitata*; por fazerem parte de grupos químicos diferentes; apresentarem modo de ação de contato e de ingestão; por estarem enquadrados entre as categorias IV e V da classificação toxicológica, considerados como produto pouco tóxico ou improvável de causar dano agudo e por serem de fácil aquisição e oferecerem bom custo-benefício.

Para os testes, os produtos foram utilizados na concentração máxima (C100) da formulação comercial registrada para *C. capitata* (em mL / 100 L⁻¹ ou g / ha⁻¹), seguindo a descrição dos rótulos de cada produto e as instruções fornecidas pelo MAPA e em uma subdose (diluição da dose recomendada), obtidas através da redução de 20% da dose inicial (D80) (Tabela 1). Como tratamento controle foi utilizada água destilada.

Tabela 1. Inseticidas e dosagens avaliadas para o manejo de *Ceratitis capitata*.

Ingrediente ativo	Grupo químico	Concentração*		
		i.a	p.c	(%)**
		(mL/100 L de H ₂ O e g/ha)		
Malationa	Organofosforado	1000 g/L	200 mL	100
			160 mL	80
Deltametrina	Piretróide	25 g/L	50 mL	100
			40 mL	80
Espinectoram	Espinosinas	250 g/kg	120 g/ha	100
			96 g/ha	80
Controle (água)	-		-	-

*Concentração: g do i.a. (ingrediente ativo) e mL ou g do p.c. (produto comercial) 100L/ha.

**Porcentagem baseada na concentração recomendada.

Para a composição das iscas tóxicas utilizaram-se os atrativos alimentares Biofruit[®] (proteína hidrolisada), Cera Trap[®] (proteína hidrolisada enzimática de origem animal) e melão de cana-de-açúcar (previamente diluídos em 3,0, 1,5 e 7,0% de água, respectivamente), misturadas aos princípios ativos deltametrina, espinectoram e malationa. Após mistura das formulações, 40 µL de cada isca foram depositados em chumaços de algodão sobre lamínulas de 18x18 mm, permanecendo por 2 horas em temperatura de 25 °C para permitir a secagem parcial e em seguida foram oferecidas aos insetos. As concentrações dos atrativos foram definidas de acordo com as recomendações dos fabricantes e metodologias de Baronio et al., 2019 e Nunes et al., 2019.

Os bioensaios foram realizados em laboratório sob condições controladas (temperatura 25 ± 2°C, umidade relativa do ar 70 ± 10% e fotoperíodo 12 horas). Os insetos adultos foram capturados das gaiolas de criação em tubos de vidro (25 x 85cm) selados com filme plástico de PVC, onde foram anestesiados ao frio (-1 °C/ 4 min). Após a sedação, foram depositados em gaiolas confeccionadas com recipientes plásticos transparentes (200 mL), forrados com papel filtro na parte inferior, desprovidos de tampa, sendo esta substituída por tecido tipo *voil*, onde tiveram contato com as iscas por um período de 4 horas de acordo com a metodologia adaptada de Baronio et al. (2019b). Após o tempo corrido, as iscas foram retiradas das gaiolas e os insetos

foram alimentados com água e solução de mel a 10% durante todo o período de avaliações (1, 3, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 horas).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial de 3 x 3 x 2 (3 inseticidas, 3 atrativos alimentares e 2 concentrações), com 10 repetições por tratamento compostas por 5 casais ($n = 100$).

Os dados de mortalidade dos adultos de *C. capitata* foram corrigidos pela Fórmula de Abbott (1925) e posteriormente, a interação dos fatores para mortalidade do inseto foi avaliada por meio de modelo linear generalizado com distribuição binomial. Após ajuste do modelo, este foi avaliado com um gráfico meio normal do pacote “hnp” (Moral et al., 2017). As médias foram comparadas utilizando a função “glht” do pacote “multcomp” (Hothorn et al., 2008).

A avaliação do efeito das iscas na sobrevivência dos insetos foi determinada a partir das curvas de sobrevivência e respectivos tempos letais através da análise de Kaplan-Meier, comparando-se as curvas de sobrevivência pelo teste log-rank. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando software R (Core Team 2022).

RESULTADOS

Analisando a toxicidade das iscas sobre *C. capitata*, foi observado interação significativa ($P < 0,05$), dos fatores inseticidas vs concentração vs atrativo alimentar. Na D100 não houve diferença significativa entre os atrativos nas iscas com deltametrina, sendo a mortalidade inferior a 50%, considerado assim menos eficiente quando comparado com os inseticidas malationa e espinetoram. Também não foi observada diferença estatística dos atrativos nas misturas com malationa, contudo, os adultos de *C. capitata* foram mais susceptíveis as essas formulações (mortalidade variando de 55,29 a 60,00%). No entanto, nas iscas com espinetoram as formulações com Melaço e Cera Trap[®] foram mais eficientes (mortalidade de 75,29 e 67,05% respectivamente) do que com Biofruit[®] (50,58%) (Tabela 2).

Tabela 2. Eficiência de iscas tóxicas formuladas com deltametrina, espinetoram e malationa mais os atrativos alimentares Biofruit[®], Cera Trap[®] e melação de cana-de-açúcar de acordo com mortalidade de adultos de *Ceratitis capitata*, após 72h de ingestão.

Tratamentos	Concentração (%)	Atrativo alimentar		
		Biofruit [®]	Cera Trap [®]	Melaço
Deltametrina	100	37,64 ± 3,94Ba	38,82 ± 6,97Ba	49,41 ± 5,82Ba*
Espinetoram	100	50,58 ± 7,18ABb	67,05 ± 4,71 Aa	75,29 ± 4,45Aa
Malationa	100	55,29 ± 7,18Aa	58,82 ± 5,33Aa	60,00 ± 6,12ABa
Deltametrina	80	27,38 ± 6,26Ba	27,38 ± 5,15 Ca	34,52 ± 4,77Ba
Espinetoram	80	96,42 ± 1,81Aa*	72,61 ± 4,71Bb	85,71 ± 6,59Aab
Malationa	80	91,66 ± 3,57Aab*	88,09 ± 3,54Ab*	98,80 ± 1,19Aa*

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas (inseticida na mesma concentração) e letras minúsculas nas linhas (atrativo em cada inseticida na mesma concentração) não diferem entre si, *evidencia diferença significativa entre doses (inseticida em cada atrativo alimentar) pelos contrastes do modelo linear generalizado com distribuição do tipo binomial ($P \leq 0,05$).

Para a C80, os atrativos não apresentaram diferença estatística nas formulações utilizando deltametrina, com mortalidade inferior a 35%. Nas iscas com espinetoram os atrativos diferiram entre si, com maior mortalidade para Biofruit (96,42%) e menor para Cera Trap (72,61%), ambos sem diferença para o Melaço (85,71%). Resultados semelhantes ainda foram observados para as iscas utilizando malationa, que apresentaram maior mortalidade para o atrativo Melaço (98,80%), seguido do atrativo Biofruit[®] (91,66%) e Cera Trap[®] (88,09%). Comparando a eficiência das iscas em relação as concentrações dos inseticidas, foi observado que malationa na C80 foi mais eficiente que a C100 para todos os atrativos utilizados. A concentração C80 de espinetoram também foi mais eficiente que a dose recomendada quando misturado com Biofruit[®] (Tabela 2).

De acordo com as curvas de sobrevivência de *C. capitata* tratadas com as iscas utilizando o atrativo Biofruit, houve diferença significativa entre os tratamentos ($P < 0,0001$). Os adultos de *C. capitata* foram susceptíveis a todas as formulações das iscas tóxicas em função do tempo. Malationa na C80 causou uma rápida mortalidade com um tempo letal mediano (TL₅₀) de 1 h, valor significativamente diferente do obtido em todos os outros tratamentos. As iscas formuladas com espinetoram na C80 (TL₅₀ = 6 horas) e malationa na C100 (TL₅₀ = 6 horas), apresentaram tempo letal mediano intermediário, com intervalos de confiança sobrepostos. Em contraste, iscas formuladas com deltametrina na C80 exibiram um tempo de

sobrevivência semelhante a iscas formuladas com deltametrina na C100 (TL₅₀ valores de 96 horas e 42 horas, respectivamente), sendo consideradas menos eficientes que as demais iscas (Tabela 3; Figura 1).

Tabela 3. Tempo letal TL₅₀ (horas) e intervalo de confiança (IC) em adultos de *Ceratitis capitata* exposto a iscas tóxicas.

Inseticida/Dose	Biofruit	Cera Trap	Melaço
	TL ₅₀ (IC 95%) ¹	TL ₅₀ (IC 95%) ¹	TL ₅₀ (IC 95%) ¹
Deltametrina 100	42 (12 - 48)	48 (12 - 48)	12 (6 - 72)
Deltametrina 80	96 (24 - 96)	48 (48 - 96)	24 (24 - 24)
Espinetoram 100	12 (12 - 48)	3 (1 - 12)	6 (3 - 12)
Espinetoram 80	6 (6 - 24)	12 (6 - 24)	6 (6 - 12)
Malationa 100	6 (1 - 24)	3 (3 - 24)	3 (3 - 12)
Malationa 80	1 (1 - 1)	1 (1 - 1)	1 (1 - 1)

¹ LT₅₀ = tempo necessário atingir 50% de uma população testada, IC intervalo de confiança de 95%.

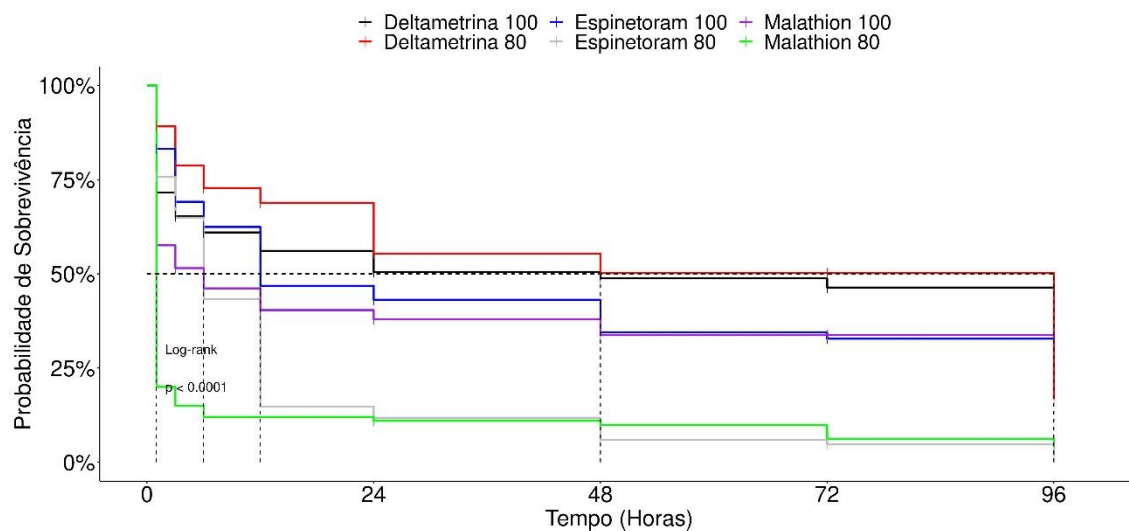


Figura 1. Eficiência de iscas tóxicas utilizando diferentes concentrações de deltametrina, espinetoram e malationa com o atrativo Biofruit® sobre *Ceratitis capitata*, de acordo com a probabilidade de sobrevivência em função do tempo.

Quando as iscas foram formuladas com o atrativo Cera Trap®, ocorreu diferença significativa na sobrevivência ($P < 0,001$). As iscas formuladas com malationa na C80 provocaram maior suscetibilidade nos insetos de *C. capitata*, com menores valores de TL₅₀ (1

hora), diferindo dos inseticidas espinetoram e malationa na C100 com $TL_{50} = 3$ horas em ambos, que apresentaram sobreposição dos intervalos de confiança. Em contraste, as formulações com deltametrina na C80 e na C100 apresentaram $TL_{50} = 48$ horas (Tabela 3; Figura 2).

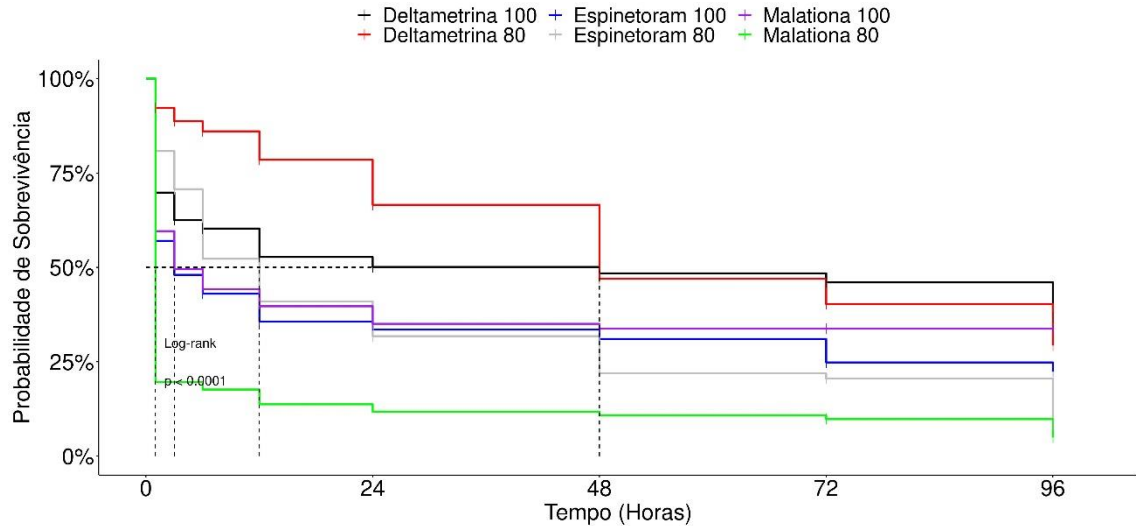


Figura 2. Eficiência de iscas tóxicas utilizando malationa, deltametrina e espinetoram com o atrativo Cera Trap® sobre *Ceratitis capitata*, de acordo com a probabilidade de sobrevivência em função do tempo.

Na formulação com o atrativo melão de cana-de-açúcar, ocorreu diferença significativa na sobrevivência ($P < 0,001$) e foi observado susceptibilidade em todas as iscas tóxicas. Para o inseticida malationa na C80 ($TL_{50} = 1$ hora) foi necessário menor tempo letal mediano, indicando maior susceptibilidade dos adultos a essa formulação. Em contrapartida, o maior tempo letal foi observado nas iscas tóxicas com deltametrina para C80 e C100, que tiveram seus intervalos de confiança sobrepostos com TL_{50} de 24 e 12 horas, respectivamente (Tabela 3; Figura 3).

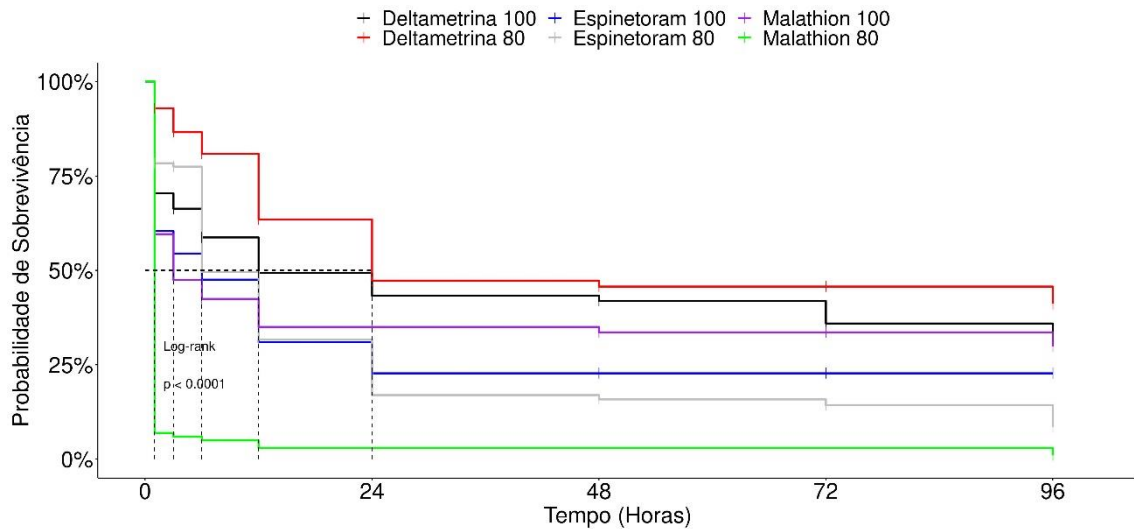


Figura 3. Tempo de sobrevivência de adultos de *Ceratitiscapitata* após o fornecimento de iscas tóxicas formuladas com malationa, deltametrina e espinetoram e o atrativo melaço de cana-de-açúcar.

DISCUSSÃO

Os resultados desse estudo mostram que as formulações de malationa e espinetoram foram mais eficientes na D80 o que pode estar relacionado com a aceitação e consumo das iscas que, de acordo com estudos de Gazit & Akiva (2017), menores doses de malationa proporcionaram maior ingestão das iscas quando testados em moscas. Isso se deve ao fato de menores concentrações se mostrarem mais atrativas e menos repelentes, possivelmente pela diluição do ingrediente ativo (Baldin et al., 2018).

Ainda pode se destacar que mesmos após a redução de 20% da dose inicial malationa e espinetoram apresentaram-se eficientes para o controle de *C. capitata*. Tal achado é considerado importante para o manejo integrado de pragas, levando em consideração que uma das principais limitações para o uso de iscas tóxicas é a degradação dos princípios ativos, resultando na baixa persistência das formulações no campo (Harter et al., 2015).

Malationa apresentou níveis elevados de mortalidade chegando a atingir 50% da população em curto tempo de 1 hora após o tratamento. Ação rápida de malationa também foi observado por Reynolds et al. (2017), que constataram que esse inseticida apresentou TL_{50} em menos de 1 hora para a mosca-das-frutas *Bactrocera tryoni*. Achados semelhantes foram encontrados por Harter et al., 2015 que verificaram mortalidade de 84,8% em 24 horas em adultos de *A. fraterculus*. A eficácia de malationa pode ser explicada pela forma de ação dos organofosforados, os quais agem inibindo as transmissões nervosas e ocasionando a morte dos insetos logo após o contato ou a ingestão do produto (Harter et al., 2015).

Assim como para malationa, também foi observada alta mortalidade para as iscas com espinetoram, neste caso, foi necessário um tempo maior de exposição. As espinosinas, por sua vez, atuam no organismo dos insetos lentamente, causando a morte dos indivíduos por indução da paralisia (Harter et al., 2015). Isso pode explicar a necessidade de um tempo maior para alcançar a mortalidade de 50% da população neste estudo.

O efeito de deltametrina nas duas doses foi retardado quando comparado com malationa e espinetoram, o que não condiz com seu rápido modo de ação, que age bloqueando os canais de sódio, interrompendo a sinalização elétrica normal nas células nervosas (Casida & Durkin, 2013; Santos et al., 2016). No entanto, resultados semelhantes aos achados por esse trabalho foram vistos por Baronio et al. (2019a), que ao testar isca tóxica composta por Biofruit® e deltametrina, observaram TL_{50} 28,8 horas após ingestão da isca.

Diante dos resultados desse estudo, fica comprovada a eficácia para as iscas tóxicas formuladas com os atrativos alimentares e os inseticidas malationa e espinetoram em dose de 80% em relação à recomendada (D80), tendo em vista a permanência de toxicidade e a rapidez na ação dos produtos sobre *C. capitata*, após simulação da degradação de 20% da dose recomendada. Quanto aos resultados positivos para os atrativos alimentares utilizados (Biofruit®, Cera Trap® e Melaço de cana-de-açúcar), fica claro a possibilidade de misturas dos inseticidas com essas fontes alimentares sem comprometimento da eficiência dos agentes letais usados, permitindo o uso da técnica de rotação entre os grupos químicos, que visa evitar a resistência a inseticidas.

Outros estudos que possam avaliar a eficácia de iscas tóxicas em *C. capitata* após degradação de parte de seus princípios ativos em condições de semi-campo e campo são necessários, pois condições naturais tornarão os resultados mais confiáveis, principalmente se esses estudos avaliarem a suscetibilidade de populações de *C. capitata* de localidades variadas.

CONCLUSÃO

C. capitata apresentam baixa suscetibilidade a formulações de iscas tóxicas com deltametrina apresenta. Iscas tóxicas formuladas com malationa e espinetoram continua eficiente no controle de *C. capitata* após redução de 20% da dose recomendada pelo fabricante e podem ser formuladas com Biofruit®, Cera Trap® e melaço de cana-de-açúcar sem comprometimento do resultado esperado.

REFERÊNCIAS

- AL-BEHADILI, F. J.; AGARWAL, M.; XU, W.; & REN, Y. Mediterranean fruit fly *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) eggs and larvae responses to a low-oxygen/high-nitrogen atmosphere. **Insects**, v. 11, n. 11, p. 802, 2020.
- ANDRADE, M.; R.; HINDE, J.; GARCIA, B. D. C. Half-normal plots and overdispersed models in R: the hnp package. **Journal of Statistical Software**, v. 81, n. 10, 2017.
- BALDIN, M. M.; SCHUTZE, I. X.; BARONIO, C. A.; GARCIA, F. R. M. & BOTTON, M. Concentration and lethal time of toxic baits based on spinosyns on *Ceratitidis capitata* and *Diachasmimorpha longicaudata*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, p. 323-330, 2018.
- BARONIO, C. A.; BERNARDI, D.; SCHUTZE, I. X.; BALDIN, M. M.; MACHOTA JR, R.; GARCIA, F. R. M. & BOTTON, M. Toxicities of insecticidal toxic baits to control *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae): implications for field management. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 6, p. 2782-2789, 2019a.
- BARONIO, C. A.; BERNARDI, D.; NUNES, M. Z.; PASINATO, J.; GARCIA, F. R. M. & BOTTON, M. Bioassay method for toxicity studies of toxic bait formulations to *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Neotropical Entomology**, v. 48, n. 2, p. 356-363, 2019b.
- BARONIO, C. A.; BERNARDI, D.; PARANHOS, B. A.; GARCIA, F. R. & BOTTON, M. Population suppression of *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) on table grapes using toxic baits. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 3963-3973, 2018.
- BENELLI, G.; RIZZO, R.; ZENI, V.; GOVIGLI, A.; SAMKOVÁ, A.; SINACORI, M.... & CANALE, A. *Carlina acaulis* and *Trachyspermum ammi* essential oils formulated in protein baits are highly toxic and reduce aggressiveness in the medfly, *Ceratitidis capitata*. **Industrial Crops and Products**, v. 161, p. 113191, 2021.
- BERNARDI, D.; NONDILLO, A.; BARONIO, C. A.; BORTOLI, L. C.; JUNIOR, R. M.; TREPTOW, R. C. B. ... & BOTTON, M. Side effects of toxic bait formulations on *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2019.
- BOTTON, M C. J. ARIOLI R.; MACHOTA JR; NUNES M. Z.; & J. M. ROSA. Moscas-das-frutas na fruticultura de clima temperado: situação atual e perspectivas de controle através do emprego de novas formulações de iscas tóxicas e da captura massal. **Agropecuária Catarinense**, v. 29, p. 103-108, 2016.
- BRITO, C.H. **Influência de tratamentos térmicos no controle da fase larval de *Ceratitidis capitata* Wied. (Diptera: Tephritidae) em frutos de sapoti (*Achras sapota* L.)**. 2007. Tese de doutorado. Tese, Universidade Federal da Paraíba, Areia.
- CASIDA, J. E.; DURKIN, K. A. Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and secondary effects. **Annual Review of Entomology**, v. 58, p. 99-117, 2013.
- CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022.

DOS SANTOS, J. P., ARIOLI, C. J., DA ROSA, J. M., & MENEZES-NETTO, A. C. Efficiency of food lures for capture and monitoring of south american fruit fly in asian pear orchard. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 3, p. 722-729, 2022.

GAZIT, Y.; AKIVA, R. Toxicity of malathion and spinosad to *Bactrocera zonata* and *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Florida Entomologist**, p. 385-389, 2017.

GROUT, T. G.; STEPHEN, P. R.; RISON, J. L. Cyantraniliprole can replace malathion in baits for *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae). **Crop Protection**, v. 112, p. 304-312, 2018.

HARTER, W. R.; BOTTON, M.; NAVA, D. E.; GRUTZMACHER, A. D.; GONÇALVES, S. R.; JUNIOR, R. M. ... & ZANARDI, O. Z. Toxicities and residual effects of toxic baits containing spinosad or malathion to control the adult *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae). **Florida Entomologist**, p. 202-208, 2015.

HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P. Simultaneous inference in general parametric models. **Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences**, v. 50, n. 3, p. 346-363, 2008.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 20/01/2023.

NUNES, M.; BARONIO, C.; MACHOTA JUNIOR, R.; BORTOLINI, L.; PASINATO, J; BALDIN, M., ... & BOTTON, M. Recomendações para avaliação de iscas tóxicas sobre as moscas-das-frutas *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitidis capitata* (Diptera: Tephritidae) em laboratório. **Embrapa Uva e Vinho-Documentos (INFOTECA-E)**, 2019.

RAGA, A.; SATO, MÁRIO E. Effect of spinosad bait against *Ceratitidis capitata* (Wied.) and *Anastrepha fraterculus* (Wied.) (Diptera: Tephritidae) in laboratory. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 815-822, 2005.

RAGA, A.; GALDINO L. T. 2018. **Atração fatal**. Cultivar HF 109: 20–23.

REYNOLDS, OLIVIA L.; OSBORNE, TERRENCE J.; BARCHIA, I. Efficacy of chemicals for the potential management of the Queensland fruit fly *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae). **Insects**, v. 8, n. 2, p. 49, 2017.

SANTOS, M. F.; CAMPOS, M. R.; BRAVIM, J. N.; OLIVEIRA, E. E., & GUEDES, R. N. C. Non-targeted insecticidal stress on the Neotropical brown stink bug *Euschistus heros*. **Crop protection**, v. 82, p. 10-16, 2016.

ARTIGO III –

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE INSETICIDAS SOBRE A MACROFAUNA DO SOLO EM ÁREA FRUTÍFERA

RESUMO

O setor frutícola depende do uso de inseticidas para garantir a produtividade agrícola, demandando grande quantidade de aplicações para o controle de pragas, utilizando como principais produtos os dos grupos organofosforados, piretróides e espinosinas. No entanto, o uso indiscriminado desses produtos pode gerar efeitos negativos, principalmente aos organismos do solo. Com isso, avaliar as alterações sofridas pela macrofauna do solo provocada pela aplicação de inseticidas em área de produção frutífera. Os inseticidas malationa, deltametrina e espinetoram, foram aplicados na dosagem máxima indicada pelo fabricante, utilizando-se o dobro do volume de calda para aplicações terrestres. O delineamento experimental ocorreu em blocos ao acaso, constituído por quatro tratamentos com cinco repetições cada, distribuídas em cinco blocos. Após a aplicação, a macrofauna do solo foi avaliada de acordo com o método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF). Foi realizada a quantificação e identificação dos indivíduos por grupos taxonômicos, para posterior determinação da densidade, riqueza, índices de diversidade de Shannon-Weaver (H') e equabilidade de Pielou (J'). Assim constatou-se que malationa, deltametrina e espinetoram não afetaram a densidade total, assim como a densidade por grupo grupos taxonômicos, exceto o grupo Coleoptera que apresentou menor densidade de indivíduos por m^2 em solo tratado com malationa e deltametrina, diferindo dos solos tratados com o inseticida espinetoram e ao tratamento controle. O inseticida deltametrina ainda reduziu a diversidade dos grupos taxonômicos estudados. Portanto, constata-se que aplicações de malationa e deltametrina reduz a densidade de Coleoptera do solo sob as condições testadas.

Palavras-chave: malationa; deltametrina; espinetoram; macrofauna do solo.

ABSTRACT

The fruit sector depends on the use of insecticides to ensure agricultural productivity, demanding a large number of applications for pest control, using organophosphates, pyrethroids and spinosyns as the main products. However, the indiscriminate use of these products can have negative effects, especially on soil organisms. With this, to evaluate the alterations suffered by the macrofauna of the soil caused by the application of insecticides in a fruitful production area. Malathion, deltamethrin and spinetoram insecticides were applied at the maximum dosage indicated by the manufacturer, using twice the volume of spray for terrestrial applications. The experimental design was in randomized blocks, consisting of four treatments with five replications each, distributed in five blocks. After application, soil macrofauna was evaluated according to the Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) method. Individuals were quantified and identified by taxonomic groups, for subsequent determination of density, richness, Shannon-Weaver diversity index (H') and Pielou evenness (J'). Thus, it was found that malathion, deltamethrin and spinetoram did not affect the total density, as well as the density by taxonomic groups, except for the Coleoptera group, which showed a lower density of individuals per m^2 in soil treated with malathion and deltamethrin, differing from soils treated with the insecticide spinetoram and the control treatment. The insecticide deltamethrin further reduced the diversity of the taxonomic groups studied. Therefore, it appears that malathion and deltamethrin applications reduce the Coleoptera density in the soil under the tested conditions. Keywords: malathion; deltamethrin; spinetoram; soil macrofauna.

Keywords: Malathion; Deltamethrin; Spinetoram; Soil macrofauna

INTRODUÇÃO

Os inseticidas são essenciais para garantir o desenvolvimento da produtividade agrícola e com a intensificação da agricultura há a necessidade do aumento desses produtos (Niva et al., 2016), principalmente no setor frutícola que é bastante susceptível à incidência de pragas, como as da ordem Diptera e família Tephritidae, conhecidas como moscas-das-frutas. Dentre essas, a espécie *Ceratitis capitata* (Wiedemann) se destaca como uma das mais relevantes e prejudiciais (Baronio et al. 2019), demandando uso extensivo de pulverizações foliares de inseticidas, principalmente os que compõem os grupos químicos organofosforados, piretróides e espinosinas (Morais et al. 2021).

À medida que o uso desses produtos aumenta, aumenta também a preocupação com a contaminação ambiental, tendo em vista que, as pulverizações não se limitam apenas às áreas afetadas pelas pragas, se dissipando por todo campo, principalmente por meio da deriva de pulverização (Cech et al. 2023). De acordo com Kafaei et al. (2020), dentre os variados ambientes em que resíduos de inseticidas podem ser encontrados após a aplicação, o mais comum é o solo, por estar totalmente exposto às práticas agrícolas. Em aplicações foliares cerca, de 30% do produto aplicado atinge diretamente o solo (Contiero et al. 2018).

O solo é um sistema vivo que apresenta uma complexa variedade de integrantes responsáveis por várias funções-chave no ecossistema, que podem ser prejudicados devido a contaminação desse ambiente (Rocha et al. 2020; Vig et al. 2021). De acordo com Gunstone et al. (2021), vários táxons de invertebrados do solo são afetados negativamente pelo uso de inseticidas, sendo os destinados ao controle de insetos pragas os mais prejudiciais. Os impactos gerados se apresentam de forma direta quando afetam a expressão gênica, comportamento, reprodução ou ciclo de vida de organismos não-alvo e ainda de forma indireta quando afeta as interações tróficas (Römbke et al. 2017), problemas que só poderão ser observados a partir do estudo desses organismos.

A detecção de problemas gerados na comunidade do solo, pode ser avaliada de acordo com abundância e diversidade de organismos existente nesse habitat. Os representantes da macrofauna por exemplo, são classificados como excelentes bioindicadores de qualidade, por apresentarem alta sensibilidade as modificações do ambiente e rápida resposta aos impactos ocorridos no ecossistema (Chamorro-Martínez et al. 2022; Santos et al. 2018). Nesse grupo estão inseridos organismos com tamanho entre 2 mm e 20 mm, como isópodes, miriápodes, colêmbolos e insetos como formigas, besouros, cupins entre outros, indivíduos esses que apresentam alta importância ecológica e facilidade para identificação (Sofa et al. 2020).

Diversos estudos de ecotoxicidade vêm sendo realizados em laboratório com intuito de avaliar o efeito de inseticidas em organismos do solo (Kafaei et al. 2020; Carniel et al. 2019). Contudo, em condições controladas não é possível estimar o efeito da exposição dos organismos em campo, onde possui uma ampla diversidade de interações ecossistêmicas e fatores ambientais, que podem afetar o efeito desses produtos.

Desta forma, experimentos de campo que visem avaliar o efeito de inseticidas sobre organismos do solo tornam-se necessários para apresentar comprovação dos testes laboratoriais. Estes trabalhos irão colaborar para a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como a escolha por ingredientes ativos menos nocivos ao meio ambiente. Sendo assim, esse estudo teve como objetivo avaliar as alterações sofridas pela macrofauna do solo provocadas pela aplicação de inseticidas em área de produção frutífera.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em solo de pomar experimental, com área de 220 m², pertencente ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), *Campus II*, localizado na cidade de Areia, estado da Paraíba, Nordeste do Brasil.

O solo foi classificado como franco arenoso apresentando 82,8% de areia, 12,3% de argila, 4,9% de silte, 2,36% de matéria orgânica e pH 6,3%, analisado pelo laboratório de solos do CCA-UFPB seguindo metodologia de Teixeira (2017). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo AS, que corresponde ao clima quente e úmido, com período chuvoso entre janeiro e fevereiro e setembro com precipitação pluvial média anual de 1.400 mm. A temperatura média anual varia entre 22 e 26°C (Jacomine et al. 1972).

A pesquisa compreendeu o período de novembro de 2021 a janeiro de 2022, sob condições meteorológicas fornecidas pela Estação Meteorológica localizada em Areia. Ainda foram avaliados o teor de umidade e temperatura do solo, por meio de um Medidor Eletrônico de Umidade do solo (*HidroFarm* - HFM2010 / HFM2030) e termômetro digital (Top 101), parâmetros observados na Tabela 1.

Tabela 1. Precipitação (mm), temperatura média (°C), umidade relativa do ar (%), volume de vento (m/s), teor de umidade e temperatura do solo registrados mensalmente durante novembro de 2021 a janeiro 2022, em Areia-PB.

Parâmetros	Mês/Ano		
	Novembro 2021	Dezembro 2021	Janeiro 2022
Precipitação (mm)	0,1	3,6	2,3
Temp. Média (°C)	26,7	25,7	25,2
UR (%)	67,0	78,0	81,0
Vv (m/s)	3,1	3,2	3,3
Temperatura do Solo (°C)	36,4	32,3	29,3
Teor de Umidade do Solo (%)	3,1	6,1	6,2

Os produtos utilizados são formulações comerciais de defensivos agrícolas, com os seguintes ingredientes ativos: malationa 1.000,0 g/L (T1), deltametrina 25 g/L (T2) e espinetoram 250,00 g/kg (T3), registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para controle de *C. capitata* na cultura de citros (T1 e T2) e para cultura da goiaba (T3). Todos foram aplicados na dosagem máxima permitida (200 e 50 mL p.c. /100 L água para T1 e T2, respectivamente, e 120g p.c. /ha para T3), utilizando o dobro do volume de calda indicado nos rótulos de cada produto para aplicações terrestres (4.000, 5.500 e 1.000 L/ha respectivamente) e para o tratamento controle (T4) utilizou-se apenas água destilada. O número de aplicações seguiu as recomendações contidas nos rótulos dos produtos para o ciclo de cada cultura (T1: três aplicações, a inicial, 15 e 30 dias após a primeira aplicação; T2: aplicação única; T3: duas aplicações, a inicial e 15 dias após a primeira aplicação e T4: número máximo de aplicações entre os produtos). As coletas obedeceram ao intervalo de segurança para cada produto, sendo T1: sete dias, T2: 21 dias, T3: três dias após a última aplicação do produto, o tratamento controle obedeceu ao mesmo intervalo do T2.

Os produtos foram selecionados obedecendo os seguintes critérios: apresentarem registro no MAPA, para o controle de *C. capitata*; fazerem parte de grupos químicos diferentes; estarem enquadrado entre as categorias IV e V da classificação toxicológica sendo considerados como produto pouco tóxico ou improvável de causar dano agudo; apresentar facilidade de aquisição e custo-benefício.

O delineamento experimental ocorreu em blocos ao acaso, constituído por quatro tratamentos com cinco repetições cada, totalizando 20 parcelas. As aplicações dos produtos ocorreram à tarde entre as 16:00 e 17:00 horas, com o auxílio de um pulverizador manual, sendo o produto pulverizado diretamente no solo em uma área de 25 x 25 cm, demarcados com piquetes e fita de isolamento, com cinco repetições.

Os macrorganismos foram avaliados de acordo com metodologia baseada no método *Tropical Soil Biology and Fertility* (TSBF), descrito por Anderson & Ingram (1993). Os cinco pontos de aplicação dos tratamentos foram distribuídos ao acaso para cada tratamento, representados por piquetes e fita de isolamento de área, formando quadrados (área amostral onde foram aplicados os inseticidas), medindo cerca de 25 x 25 cm.

As coletas foram realizadas após 7, 21 e 3 dias após a última aplicação de malationa, deltametrina e espinetoram respectivamente, nos horários entre 7 a 11 horas da manhã. Para cada ponto de coleta foram retiradas amostras referentes aos primeiros 10 cm do solo de cada parcela. Em seguida as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos etiquetados com informações sobre a área, número do ponto de coleta, data de coleta e amostra. Uma vez embaladas, as amostras foram levadas ao laboratório, onde foram homogeneizadas para a triagem dos indivíduos visíveis a olho nu. Após a triagem, os exemplares encontrados foram armazenados em álcool 70% para posterior identificação em grupos taxonômicos.

A identificação dos indivíduos foi realizada com o auxílio de um microscópio estereoscópico e literatura específica (Charles e Norman 2011; José et al 2012). Após a identificação dos indivíduos, determinou-se a densidade (indivíduos por m²) dos grupos a partir da área total da amostra (25 x 25 x 10 cm), dividindo-a por 1m² e o valor obtido multiplicado pelo número médio de indivíduos encontrados. Ainda se estimou a riqueza pelo número de grupos taxonômicos, o índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e a equabilidade de Pielou (J').

Os dados foram avaliados por meio do teste de Bootstrap, comparando a significância das médias e intervalos de confiança dos parâmetros com o pacote boot do R (Angelo & Brian, 202). As análises foram realizadas usando software R (Core Team 2022).

RESULTADOS

Analisando a macrofauna do solo tratado com malationa, deltametrina e espinetoram, não foi observado diferença estatística significativa entre os inseticidas e o tratamento controle para a variável densidade total, assim como para os grupos taxonômicos de forma isolada, exceto para o grupo Coleoptera. Os coleópteros sofreram alterações significativas dos inseticidas, apresentando menor densidade de indivíduos por m² em solo tratado com malationa e deltametrina, diferindo dos solos tratados com o inseticida espinetoram que se igualou ao tratamento controle (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios para densidade (ind. m²) total dos grupos taxonômicos da macrofauna do solo, amostrados pelo método de coleta TSBF em área tratada com inseticidas no campo experimental da UFPB – *campus* II.

Grupo Taxonômico	Malationa	Deltametrina	Espinetoram	Controle
Coleoptera	0,87 b	0,87 b	8,80 a	6,15 a
Hemiptera	0,88 a	1,76 a	0,0 a	0,0 a
Hymenoptera	13,20 a	20,22 a	48,44 a	24,61 a
Blattodea	0,88 a	1,76 a	0,0 a	0,0) a
Scolopendridae	0,88 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
Zygentoma	1,76 a	0,88 a	0,0 a	0,0 a
Araneae	4,37 a	0,0 a	7,93 a	1,75a
Densidade Total	26,39 b	29,92 ab	65,07 a	32,57 ab

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si de acordo com os intervalos de confiança.

Quanto aos atributos da macrofauna, foi observado que para a riqueza não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos. Os índices de Shannon e Pielou apresentaram diferença apenas entre deltametrina e malationa, com menores valores para deltametrina (Tabela 3).

Tabela 3. Médias para riqueza, índices de diversidade de Shannon-Weaver (H') e equabilidade de Pielou (J') dos grupos taxonômicos da macrofauna do solo, amostrados pelo método de coleta TSBF em área tratada com inseticidas no campo experimental da UFPB – *campus* II.

Atributos da macrofauna	Malationa	Deltametrina	Espinetoram	Controle
Riqueza	2,60 a	1,79 a	2,39 a	2,19 a
Shannon (H')	0,96 a	0,36 b	0,67 ab	0,82 a
Pielou (J')	0,88 a	0,42 b	0,67 ab	0,76 ab

DISCUSSÃO

De acordo com os resultados deste trabalho, a redução da densidade (ind. m²) observada nos solos com malationa e deltametrina para o grupo coleoptera chega a ser preocupante, uma vez que, os indivíduos desse grupo atuam na regulação ecológica e no manejo de insetos-praga, principalmente em pomares frutíferos. Como os coleópteros da família Carabidae, que apresentam predação confirmada sobre fases imaturas de *C. capitata* (Nourmohammadpour-Amiri et al. 2022), pulgões, larvas de lepidópteros e lesmas (Cividanes 2021). Além de predadores de pragas, esse grupo ajuda na decomposição da matéria orgânica, responsável por

disponibilizar os nutrientes que irão melhorar a qualidade do solo e conseqüentemente o desempenho das plantas.

Efeitos adversos provocados por malationa e deltametrina sobre artrópodes não-alvo e inimigos naturais foi relatado por De-Armas et al. (2020), que constataram a influência negativa de malationa sobre o coleóptero *Coleomegilla quadrifasciata* (Schoenherr), predador ativo em pessegueiros. Em estudos com deltametrina e outros inseticidas de mesmo modo de ação, observou-se que deltametrina ocasionou maior toxicidade em *Adalia bipunctata* (L.) (Garzón et al. 2015) e reduziu o crescimento populacional de *Ceratomegilla undecimnotata* (Schneider) (Skouras et al. 2021), ambos da ordem Coleoptera e família Coccinellidae.

Sobre a diversidade biológica após tratamento com os inseticidas, foi observado que a macrofauna do solo mostrou maior sensibilidade ao inseticida deltametrina, uma vez que este apresentou menor diversidade de indivíduos de acordo com o índice de Shannon e menor uniformidade de acordo com o índice de Pielou. Esses índices possibilitam a estimativa do estado de equilíbrio de um ecossistema e de acordo com Vasconcelos et al. (2020), os menores valores dos índices de diversidade indicam uma menor uniformidade entre a diversidade dos grupos taxonômicos, o que representa menor integridade estrutural da comunidade. Indica também que a área deve estar sofrendo perturbações e que essas podem ser ocasionadas pela ação predatória entre os indivíduos, os predadores se tornam mais numerosos diante do desenvolvimento do processo alimentar (Carvalho, 2014). A relação de perturbação da área com a cadeia alimentar é um ponto que merece destaque nesse estudo, tendo em vista que, os grupos taxonômicos Hymenoptera, Aranae e Coleoptera (considerados predadores naturais) se apresentaram mais números que os demais.

O conhecimento sobre o efeito da exposição de organismos do solo não-alvo aos principais inseticidas de áreas frutícolas contribui para a conservação ecológica desses ambientes e estudos de campo contribuem para uma compreensão mais realista possibilitando a escolha assertiva de produtos compatíveis com o manejo integrado de pragas, que tem como intuito o controle eficaz das pragas de forma economicamente viáveis e ecologicamente compatíveis.

CONCLUSÃO

A diversidade da macrofauna e a densidade de coleópteros do solo em área frutífera sob as condições testadas, reduz com aplicações de deltametrina.

REFERÊNCIA

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Soil Science, v.15, p. 265, 1994.

ANGELO, C.; BRIAN R. **boot: Funções Bootstrap R (S-Plus)**. 2021.

BARONIO, C.A.; BERNARDI, D.; SCHUTZE, I. X.; BALDIN, M. M.; MACHOTA, JR. R.; GARCIA, F. R. M.; BOTTON, M. Toxicities of insecticidal toxic baits to control *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae): implications for field management. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, p.2782-2789, 2019. <https://doi.org/10.1093/jee/toz194>.

BIONDI, A.; MOMMAERTS, V.; SMAGGHE, G.; VINUELA, E.; ZAPPALA, L.; DESNEUX, N. The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods. **Pest management science**, v. 68, n. 12, p. 1523-1536, 2012. <https://doi.org/10.1002/ps.3396>.

CARNIEL, L. S. C.; NIEMEYER, J. C.; DE OLIVEIRA, F. L. C. I.; ALEXANDRE, D.; GEBLER, L.; KLAUBERG-FILHO, O. The fungicide mancozeb affects soil invertebrates in two subtropical Brazilian soils. **Chemosphere**, v. 232, p.180-185, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.179>.

CARVALHO, T. A. F. **Mesofauna (Acari e Collembola) em solo sob cafeeiro e leguminosas arbóreas**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

Cech R.; Zaller, J. G.; Lyssimachou, A.; Clausing, P.; Hertoge, K.; Linhart, C. (2023) Pesticide drift mitigation measures appear to reduce contamination of non-agricultural areas, but hazards to humans and the environment remain. *Science of The Total Environment*, 854: 158814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158814>.

CORE TEAM (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

CHAMORRO-MARTÍNEZ, Y.; TORREGROZA-ESPINOSA, A.C.; PALLARES, M. I. M.; OSORIO, D. P.; PATERNINA, A.C.; ECHEVERRÍA-GONZÁLEZ, A. Soil macrofauna, mesofauna and microfauna and their relationship with soil quality in agricultural areas in northern Colombia: ecological implications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.46, p. 0210132, 2022. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20210132>.

CHARLES, A.T.; NORMAN, F. J. Estudos dos insetos. Cengage Learning, Brasil.
Cividanes, FJ (2021) Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) and biological control of agricultural pests in Latin America. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 114, p.175-191, 2011. <https://doi.org/10.1093/aesa/saaa051>.

CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. **Tecnologia de aplicação**. In: BRANDÃO, F.J.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L.; GOTO, R. **Hortaliças-frutos**. Maringá: Eduem, p. 401-449, 2018.

DE ARMAS, F. S.; DIONEI, G. A.; EDSON, N.D.; ANTONIO, P.R.; RAKES, M.; BASTOS, P. J. Non-target toxicity of nine agrochemicals toward larvae and adults of two generalist predators active in peach orchards. **Ecotoxicology**, v. 29, p.327-339, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02177-5>.

GARZÓN, A.; MEDINA, P.; AMOR, F.; VIÑUELA, E.; BUDIA, F. Toxicidade e efeitos subletais de seis inseticidas em larvas de último ínstar e adultos dos agentes de biocontrole *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) e *Adalia bipunctata* (L.) (Coleoptera: Coccinellidae). **Chemosphere**, v. 132, p. 87–93, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.016>.

GUNSTONE, T.; CORNELISSE, T.; KLEIN, K.; DUBEY, A.; DONLEY, N. Pesticides and Soil Invertebrates: A Hazard Assessment. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p.1–21, 2021. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.643847>.

JACOMINE, P. K. T.; RIBEIRO, M. R.; MONTENEGRO, J.O.; SILVA, A.P.; & MELO, F.H.F.R. (1972). I. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba, Brasil.

RAFAEL, J.A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C.J.B.; CASARI, A.S.; CONSTANTINO R, L. C. (2012) **Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia**. Holos, Brasil.

KAF AEI, R.; ARFAEINIA, H.; SAVARI, A.; MAHMOODI, M.; REZAEI, M.; RAYANI, M.; ... & RAMAVANDI, B. Organochlorine pesticides contamination in agricultural soils of southern Iran. **Chemosphere**, v.240, p.124983, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124983>.

MORAIS, M. C.; RAKES, M. PADILHA, A. C.; GRÜTZMACHER, A. D.; NAVA, D.E.; BERNARDI, O.; & BERNARDI, D. Susceptibility of Brazilian populations of *Anastrepha fraterculus*, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), and *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) to selected insecticides. **Journal of Economic Entomology**, v. 11, p. 1291-1297, 2021. <https://doi.org/10.1093/jee/toab050>.

NIVA, C. C.; NIEMEYER, J.C.; JÚNIOR, F. M. R. D. S.; NUNES MET, S. D. L.; ARAGÃO, C. W. S., ... & RÖMBKE, J. Soil ecotoxicology in Brazil is taking its course. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 11363-11378, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6597-1>.

NOURMOHAMMADPOUR-AMIRI, M.; SHAYANMEHR, M.; AMIRI-BESHELI, B. Influence of ground beetles (Carabidae) as biological agent to control of the Mediterranean fruit fly pupae, *Ceratitis capitata*, in Iranian citrus orchards. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 25, p. 101986, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2022.101986>.

ROCHA, M. F.; MATOS, F. S.; PINHO, E. F. M.; GUIMARÃES, N. F. Influência do inseticida Metomil sobre a população microbiana do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 59307-59321, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-373>.

ROEMBKE, J.; SCHMELZ, R. M.; PELOSI, C. EFFECTS of organic pesticides on enchytraeids (Oligochaeta) in agroecosystems: laboratory and higher-tier tests. **Frontiers in Environmental Science**, v. 5, p.20, 2017. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00020>.

RUIZ, P.; ARES, A. M.; NOZAL, M. J.; MARTÍN, M. T.; & BERNAL, J. Simultaneous determination of spinetoram J and L in bee pollen by liquid chromatography-mass spectrometry. **Microchemical Journal**, v.154, p. 104546, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104546>.

SANTOS, J. B. D.; RAMOS, A. C.; AZEVEDO JÚNIO, R.; OLIVEIRA, F. L. C. I. D.; BARETTA, D.; & CARDOSO E.J.B.N. Soil macrofauna in organic and conventional coffee plantations in Brazil. **Biota Neotropica**, v.18, 2018. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0515>.

SKOURAS, P. J.; DARRAS, A. I.; MPROKAKI, M.; DEMOPOULOS, V.; MARGARITOPOULOS, J. T.; DELIS, C.; & STATHAS, G. J. Toxicity, sublethal and low dose effects of imidacloprid and deltamethrin on the aphidophagous predator *Ceratomegilla undecimnotata* (Coleoptera: Coccinellidae). **Insects**, v.12, p. 696, 2021. <https://doi.org/10.3390/insects12080696>.

SOFO, A. M.; ALBA, N.; RICCIUTI, P. Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems. **Agronomy**, v. 10, p. 456, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040456>.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (2017). **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa, Brasil.

VASCONCELOS, W. L. F.; RODRIGUES D. M.; SILVA, R. O. C.; ALFAIA, S. S. Diversity and abundance of soil macrofauna in three land use systems in eastern Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.44, p.1-16, 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20190136>.

VIG, K.; SINGH D. K.; AGARWAL, H. C.; DHAWAN, A. K.; & DUREJA, P. Soil microorganisms in cotton fields sequentially treated with insecticides. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 69, p. 263-276, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.12.008>.

WANG, D.; LV, W.; YUAN, Y.; ZHANG, T.; TENG, H.; LOSEY, J. E.; & CHANG, X. Assessing the risk of insecticides to Actinopterygii in the combination of ecological planting and rearing. **Environmental Pollution**, v. 276, p.116702, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116702>