

ELIZA VITÓRIA MARINHO VIANA

**RISCO AMBIENTAL DOS INSETICIDAS EM SISTEMAS AGRÍCOLAS NO
ESTADO DE MATO GROSSO E O USO DE FEROMÔNIO PARA O MANEJO DE
LEPIDÓPTEROS-PRAGA**

**TANGARÁ DA SERRA/MT - BRASIL
2023**

ELIZA VITÓRIA MARINHO VIANA

**RISCO AMBIENTAL DOS INSETICIDAS EM SISTEMAS AGRÍCOLAS NO
ESTADO DE MATO GROSSO E O USO DE FEROMÔNIO PARA O MANEJO DE
LEPIDÓPTEROS-PRAGA**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mônica Josene
Barbosa Pereira

**TANGARÁ DA SERRA/MT – BRASIL
2023**

V614r Viana, Eliza Vitória Marinho.

Risco ambiental dos inseticidas em sistemas agrícolas no Estado de Mato Grosso e o uso de feromônio para o manejo de lepidópteros-praga / Eliza Vitória Marinho Viana; Profª. Dra. Mônica Josene Barbosa Pereira– Tangará da Serra, 2023.

98f. il. col. (anexo CD-ROM)

Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sistemas de Produção na Universidade do Estado de Mato Grosso) – UNEMAT.

1. Ecotoxicologia. 2. Pesticidas. 3. Triagem. 4. Semioquímicos. 5. Manejo Integrado de pragas

I. Título.

CDU – 628.3(817.2)

ELIZA VITÓRIA MARINHO VIANA

**RISCO AMBIENTAL DOS INSETICIDAS EM SISTEMAS AGRÍCOLAS NO
ESTADO DE MATO GROSSO E O USO DE FEROMÔNIO PARA O MANEJO DE
LEPIDÓPTEROS-PRAGA**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em :

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. Mônica Josene Barbosa Pereira
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
(Orientadora)

Prof^o. Dr^o. Henrique Fonseca Goulart
Universidade Federal de Alagoas - UFAL
(membro externo)

Prof^a. Dr^a. Miriam Hiroko Inoue
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
(membro interno)

**TANGARÁ DA SERRA/MT - BRASIL
2023**

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado conhecer pessoas incríveis ao longo da minha história na academia. Aos familiares que apoiaram minha escolha, mesmo com todos os desafios que é realizar pesquisa.

À minha orientadora Mônica Josene Barbosa Pereira por contribuir para minha formação, sempre com muita dedicação e zelo, sendo um exemplo de mulher pesquisadora, mãe, esposa e amiga, sempre superando os desafios impostos.

Aos professores e pesquisadores Miriam Hiroko Inoue e Henrique Fonseca Goulart pelas contribuições, disponibilidade e ensinamentos que auxiliaram ao longo da execução deste trabalho.

Aos amigos de laboratório Jefferson Marcelo Arantes da Silva, Marcos Godoy Ficner, Fabiane Rezende Betoni, Andressa Aparecida Rodrigues Campos, Eveline Maria Brezolin Dezengrini, Guilherme José Cirino Luduwig, Robson Aparecido dos Santos e Bruna Ferreira Lima que participaram de etapas cruciais para o desenvolvimento deste trabalho, sempre com palavras de apoio, incentivo e perseverança. Deixo também meu agradecimento aos ex-bolsistas de iniciação científica júnior Wellington Galdino, Igor Araújo e Analice Guimarães que me encheram de orgulho quando entraram na faculdade.

À universidade pública (UNEMAT) e aos professores do programa (PPGASP) por me proporcionarem desenvolvimento profissional e humano.

Aos colaboradores do transporte da Unemat Sr. Miguel, Sr. Wagner e Sr. Oacir. Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

Esta pesquisa foi financiada pelo instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT), Semioquímicos na Agricultura (FAESP – Processo n. 2014/5087-0 e CNPq – Processo n. 465511/2014-7).

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	7
ABSTRACT GENERAL	8
INTRODUÇÃO GERAL	9
Índice de risco ambiental dos principais inseticidas utilizados no estado de Mato Grosso.....	17
Uso de feromônio sexual como estratégia sustentável para o manejo de <i>Spodoptera frugiperda</i> (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae).....	60
CONSIDERAÇÕES FINAIS	98

RESUMO GERAL

As extensas áreas agrícolas do estado de Mato de Grosso, enfrentam problemas fitossanitários que têm aumentado o uso de pesticidas ao longo dos anos. Em decorrência disso, existe uma preocupação em relação ao potencial de contaminação que esses compostos podem causar no ambiente. Dessa forma, determinar o Índice de Risco Ambiental (IRA) é uma ferramenta importante para o gerenciamento dos impactos ambientais ocasionados por estes pesticidas. Para minimizar tais impactos, pesquisas com semioquímicos, com destaque para os feromônios sexuais, tem sido apontado como uma tecnologia promissora para minimizar os efeitos deletérios dos inseticidas nos agroecossistemas. Diante dessas possibilidades, os objetivos deste trabalho foram: (i) estimar um IRA baseado nos principais inseticidas utilizados no controle de lepidópteros-praga no estado de Mato Grosso e (ii) avaliar, à campo, formulações experimentais do feromônio sexual de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), uma das principais pragas agrícolas do país. Os dados do montante de inseticidas consumidos, foram coletados junto ao Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso (INDEA) e as suas características físico-químicas foram obtidas no Departamento de Agricultura dos EUA. Os parâmetros utilizados do IRA foram: persistência no solo, lixiviação, volatilidade, perfil toxicológico e dose recomendada. Para avaliação dos feromônios em campo, foram montados experimentos nas culturas da soja, milho e algodão, durante a safra 2020/21. Sendo avaliados 5 tratamentos, com duas formulações experimentais (F1 e F2), uma formulação comercial (FC), fêmeas virgens, como controle positivo (CP) e hexano, como controle negativo (CN). Os resultados indicaram que para o controle de lepidópteros-praga no Mato Grosso foram comercializados, em 2020, um montante de 20.249.521,90 kg de ingredientes ativos, com destaque para o organofosforado Malationa com maior índice e o organofosforado Acephato com menor IRA. De modo geral, todos os pesticidas apresentaram níveis de toxicidade de médio a muito alto. Quanto às avaliações do feromônio a F1 composta por Z9-14: OAc (76%), Z11-16: OAc (19%) e Z7-12: OAc (5%) foi mais promissora para todas as culturas avaliadas, pois apesar de possuir menor quantidade de compostos ela conseguiu ser estatisticamente igual à F2, que variou de cinco [Z9-14: OAc (38%), Z11-16:OAc (9,5%), Z7-12: OAc (2,5%), Z11-16: Ald (48,5%), Z9-16: Ald (1,5%)] a quatro componentes [Z9-14: OAc (75,5%), Z11-16:OAc (18,5%), Z7-12: OAc (5%), Z9-12: OAc (1%)]. Diante dos resultados apresentados, espera-se que o IRA contribua na gestão de riscos dos pesticidas, facilitando a tomada de decisão com a escolha de inseticidas menos nocivos aos agroecossistemas. Quanto às formulações feromonais, os resultados apresentaram potencial de uso no monitoramento de *S. Frugiperda*, principalmente nas culturas da soja e milho, pois podem indicar o momento mais oportuno para entrada com medidas de controle, visando otimizar o manejo da referida praga.

Palavras-chave: Ecotoxicologia, Pesticidas, Triagem, Semioquímicos, Manejo Integrado de pragas.

ABSTRACT GENERAL

The large extensions of cultivated areas in Brazil often generate phytosanitary problems, which have increased the use of pesticides. Consequently, there is a concern regarding the potential for contamination that these compounds can cause in the environment, and the proposal of the Environmental Risk Index (ERI) serves as a tool for managing the environmental impacts of pesticides. In addition, the search for more effective management tactics, such as the use of pheromones, has been a promising technology that aims to reduce the deleterious effects of insecticides on the agroecosystem. Given these possibilities, the objectives of this work were: (i) to carry out an ERI based on the main insecticides used to control lepidopteran pests in the state of Mato Grosso; (ii) to evaluate in the field experimental formulations of the sex pheromone of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), one of the main agricultural pests in the country. Data on the number of insecticides consumed were collected from the Instituto de Defesa Agropecuaria de Mato Grosso (INDEA) and their physicochemical characteristics were obtained from the Pesticide Properties Database (PPDB) of the University of Hertfordshire and from the Pesticide Properties Database (PPD) of the US Department of Agriculture. The ERI parameters used were soil persistence, leaching, volatility, toxicological profile, and recommended dose. Regarding the evaluation of the pheromone, field tests were carried out in soybean, corn and cotton crops during the 2020/21 harvest. Five treatments were evaluated, being two experimental formulations (F1 and F2), one commercial formulation (FC), virgin females as a positive control (CP) and hexane as a negative control (NC). The main insecticides used to control lepidopteran pests in Mato Grosso which had a total of 20,249,521.90 kg of active ingredients (a.i.), in which the main ones were ordered in descending order of environmental risk: malathion > methoxyfenozide > chloranthraniliprole > flubendiamide ≥ beta-cyfluthrin > lufenuron ≥ methomyl ≥ bifenthrin > lambda-cyhalothrin ≥ alpha-cypermethrin ≥ cyantraniliprole ≥ permethrin ≥ chlorfenapyr ≥ chlopyrifos ≥ profenofos ≥ thiodicarb > indoxacarb ≥ zeta-cypermethrin ≥ cypermethrin ≥ teflubenzuron ≥ spinetoram > triflumuron ≥ acefate. This last insecticide, despite being moderately toxic to animal life, had the lowest ERI due to low persistence, leaching and volatility. In general, all substances showed medium to very high toxicity levels, which is a worrying factor if they reach non-target populations, such as bees, fish and birds. As for the pheromone evaluations, the F1 composed of Z9-14: OAc (76%), Z11-16: OAc (19%) and Z7-12: OAc (5%) was more promising for all cultures evaluated, because despite having a lower amount of compounds it managed to be statistically equal to F2, which ranged from five [Z9-14: OAc (38%), Z11-16: OAc (9.5%), Z7-12: OAc (2.5%) , Z11-16: Ald (48.5%), Z9-16: Ald (1.5%)] to four components [Z9-14: OAc (75.5%), Z11-16: OAc (18, 5%), Z7-12: OAc (5%), Z9-12: OAc (1%)]. Considering the results presented, it is expected that the ERI contributes to the technical professionals in risk management and decision-making that cause less environmental impact, such as choosing insecticides that are less harmful to ecosystems. Added to this tool, the experimental formulations have the potential to be used in the monitoring of *S. frugiperda*, especially in soybean and corn crops, as they can indicate the most opportune moment to introduce control measures, aiming at optimizing management effectiveness.

Keywords: Ecotoxicology, Pesticides, Screening, Semiochemicals, Integrated Pest Management.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um grande fornecedor de alimentos (NEVES, 2021). Na safra de 2020/21 a produção de grãos foi estimada em 252,3 milhões de toneladas e entre os grãos de maior importância estão a soja com 136 milhões de toneladas produzidas e o milho com 19,86 milhões (CONAB, 2021). Para esta produção no território nacional são demandadas grandes extensões de áreas, o que somado aos problemas fitossanitários característicos das culturas, têm ocasionado o aumento do uso de pesticidas. Para se ter uma ideia, em 2019, as agências reguladoras brasileiras, aprovaram 475 novos pesticidas compostos por 107 ingredientes ativos (i.a.), sendo que apenas 8% são de produtos biológicos e os outros 92% são de químicos (BRAGA et al., 2020). Neste mesmo ano, um total de 620.537,98 toneladas de i.a. foram vendidos no país (IBAMA, 2021).

Segundo o Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária (IMEA), o uso de agrotóxicos em Mato Grosso representou um percentual significativo dos custos variáveis de produção na safra 2020/21. Especificamente, o uso de agrotóxicos representou 51,35% dos custos variáveis na produção de algodão, 38,57% na produção de soja e 22,90% na produção de milho. Entre os diferentes tipos de pesticidas utilizados, os inseticidas são os produtos mais utilizados para o controle de pragas no campo. Isso destaca a dependência contínua de pesticidas químicos como principal método de controle de pragas na indústria agrícola do Mato Grosso.

Os produtos químicos sintéticos, a partir da década de 1940, proporcionaram proteção para os cultivos e seu emprego vem crescendo exponencialmente ao longo dos anos (CARVALHO, 2017). Porém, o uso acentuado de pesticidas tem gerado um conjunto de efeitos negativos, pois, uma vez no ambiente, eles podem afetar a biodiversidade animal e vegetal nos ecossistemas aquáticos e terrestres (MAHMOOD et al., 2016).

Estudos como o de Vasíckov et al. (2019) na República Tcheca revelaram que dos 75 locais amostrados, 35% tinham resíduos de pesticidas no solo representando alto risco ecológico. No Brasil, Barizon et al. (2019) detectaram, durante a estação chuvosa, a presença de sete pesticidas (fipronil, metil paration, metolacoloro, atrazina, carbofuran, diuron e simazine) no rio Camanducaia e seus afluentes, o que deixa o ambiente aquático vulnerável à contaminação. Devido a essas problemáticas, existe um interesse crescente em identificar os impactos dos pesticidas no ambiente, assim

como, adotar alternativas mais sustentáveis dentro dos agroecossistemas.

Uma das formas de minimizar os impactos é a avaliação cuidadosa do potencial adverso de cada princípio ativo utilizado. Nesse sentido, o Índice de Risco Ambiental (IRA) é uma ferramenta que permite utilizar parâmetros disponíveis na literatura, como toxicidade animal, impacto na água e no solo, para serem usados como instrumento de monitoramento, gestão e educação ambiental, auxiliando para o manejo adequado dos pesticidas (SCHAAF, 2015). Os indicadores utilizam um sistema de classificação que varia entre menos prejudicial à muito prejudicial para cada parâmetro avaliado, e serve também como uma ferramenta de diagnóstico e tomada de decisão projetada para otimizar o manejo de pesticidas (SAMUEL et al. 2012; KUDSK, JORGENSEN, ORUM, 2018).

Existem muitos métodos para os indicadores de riscos ambientais na literatura, sendo que muitos países desenvolvidos possuem seu próprio manual ou tecnologia para estimar os potenciais riscos dos pesticidas. Por exemplo, a abordagem recomendada pelo Ministério da Agricultura, Pesca e Alimentação de Quebec (Canadá) inclui no seu indicador um componente de saúde e um componente ambiental (SAMUEL et al. 2012). Na Dinamarca um novo modelo de “Carga de Pesticidas”, que consiste nos parâmetros de saúde humana, ecotoxicologia e destino ambiental, é usado como o indicador comercial de risco de pesticidas, sendo obrigatório que os agricultores carreguem os dados de uso dessas substâncias (KUDSK, JORGENSEN, ORUM, 2018).

A avaliação do impacto ambiental dos pesticidas também foi aplicada em São Vicente, província de Santa Fé (Argentina), para observar a tendência de risco nos campos locais (SCHAAF, 2015). Na Turquia é utilizado um índice de triagem de lixiviação para estimar a probabilidade de ocorrência de pesticidas nas águas subterrâneas (DEMIR, DILEK, YETIS, 2019). No Brasil índices de lixiviação são usados para estimar risco de contaminação da água por resíduos de pesticidas. Soares, Faria e Rosa (2017) analisaram os pesticidas no município de Campo Novo dos Parecis - MT a partir de dados coletados na Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e detectaram risco real de contaminação ambiental por resíduos de pesticidas, sendo 26,1%, dos 114 i.a. avaliados, apresentando algum tipo de risco de contaminação de águas subterrâneas, de acordo com o índice GUS (*Groundwater Ubiquity Score*).

Dessa forma, informações como estas podem ser úteis para as agências

reguladoras iniciarem mudanças que visem melhorar a qualidade do ambiente aquático e terrestre, podendo resultar em maior conscientização dos agricultores e consequente diminuição dos impactos ambientais causados pelos pesticidas (ONWONA-KWAKYE, HOGARH, BRINK, 2020). A análise de risco juntamente com estratégias sustentáveis de Manejo Integrado de Pragas (MIP) podem mitigar os efeitos danosos nos agroecossistemas. Nessa perspectiva, o estudo de semioquímicos, como os feromônios, tem ajudado na busca por alternativas de novos métodos de controle de pragas.

O feromônio sexual, por exemplo, age de forma intraespecífica, ou seja, atua entre indivíduos da mesma espécie e essa especificidade é assegurada pela presença de uma junção de componentes, que desempenha um importante papel no isolamento reprodutivo, o que impede um cruzamento entre espécies diferentes (ANDO, INOMATA, YAMAMOTO, 2004). O sexo do emissor do sinal químico varia de acordo com a ordem do inseto, sendo que ordem Lepidoptera são as fêmeas as responsáveis por secretar o feromônio sexual, como um sinal químico de acasalamento (THOMAZINI, 2009; ANDO, YAMAKAWA, 2011).

Apesar dos lepidópteros serem o segundo maior grupo de insetos e possuírem grande diversidade de feromônios, estes são divididos basicamente em Tipo 0, Tipo I, Tipo II e Tipo III. Os compostos do Tipo I compreendem 75% dos feromônios conhecidos e apresentam estrutura carbônica linear (C_{10} a C_{18}) com grupos funcionais terminais de álcoois primários ou derivados como o acetato ou aldeído, possuindo de zero a três insaturações. Os feromônios do Tipo II são hidrocarbonetos polinsaturados de cadeias lineares longas de C_{17} a C_{23} (excepcionalmente pode ter C_{25} e C_{27}), com uma a cinco insaturações, além da possibilidade de ter até duas funções epóxido, sendo representados por 15% dos feromônios de lepidópteros conhecidos. Os outros 10% englobam os feromônios do Tipo 0 e Tipo III (ANDO, YAMAKAWA, 2011).

Além dos feromônios do Tipo I e II, álcoois secundários, cetonas com uma cadeia linear e ésteres de cadeia longa não ramificada foram identificados, sendo classificados como 'outros tipos de feromônio' (ANDO, INOMATA, YAMAMOTO, 2004). Como a variação da estrutura química é limitada, a diversidade dos feromônios sexuais de lepidópteros é gerada pela mistura de vários componentes.

Por uma questão de nomenclatura, cada composto tem seu nome abreviado da seguinte forma: Z = (Z)-ligação dupla ("Z" indica isômero do mesmo lado do plano); E = (E)-ligação dupla ("E" indica isômero em lados opostos do plano); D = ligação

dupla terminal; número antes do hífen = posição da ligação dupla, anel epóxi ou ramificação metil; número após o hífen = número de carbono da cadeia linear; depois tem-se dois pontos e a abreviação do grupo funcional (OAc = acetato, OH = álcool, Ald = aldeído, H = ausência de um grupo funcional terminal), por exemplo, o Z9-14: OAc, possui 14 carbonos de cadeia linear, apresenta dupla ligação no carbono 9 e é um acetato que contém isômeria no mesmo lado do plano (ANDO, YAMAKAWA, 2011).

Os feromônios são também divididos de acordo com a função que exercem sobre o receptor, podendo ser de trilha, alarme, marcação de oviposição, agregação e sexual (BLASSIOLI-MORAES et al., 2019). Este último é o mais utilizado na agricultura, principalmente, para o manejo de lepidópteros-praga, pois oferece aplicação prática no monitoramento e no controle (ZARBIN, RODRIGUES, LIMA, 2009). As principais vantagens do uso de feromônio sexual são a não persistência no ambiente, atoxicidade e especificidade para a espécie alvo, além de provocar respostas comportamentais em doses extremamente baixas (MATTHEWS, MATTHEWS, 2010), se apresentando como uma alternativa muito promissora para manejo de pragas.

No contexto da produção brasileira, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma praga que merece atenção, por se reproduzir em diversas culturas e regiões, com comportamento polífago e migratório (HARDKE, LORENZ, LEONARD, 2015). É uma espécie nativa de áreas tropicais e subtropicais da América, incluindo as ilhas do Caribe (PEDIGO, et al. 2021). Recentemente sua disseminação foi relatada na parte do sul da Europa, África Central, Ásia tropical, parte leste da China e costa leste da Austrália (TIANMENG et al., 2018). A distribuição desta praga é principalmente influenciada pelas plantas hospedeiras primárias ou hospedeiros alternativos (secundários) e representam uma ameaça para produção agrícola, devido ao seu hábito alimentar agressivo e sua ampla distribuição no mundo (BALOCH et al., 2020).

Por ter grande importância econômica esta praga é frequentemente estudada. A mais recente pesquisa, descreveu os constituintes do feromônio sexual emitido pelas fêmeas de *S. frugiperda*, localizadas na Nigéria. Haenniger et al. (2020) encontraram, em cepas de *S. frugiperda* em milho e arroz, uma mistura dos acetatos (Z)-9-tetradecenila (Z9-14: OAc), variando entre 96,4-96,8%, o (Z)-7-dodecenila (Z7-12: OAc) nas proporções de 2,0-2,3 e o (Z)-9-dodecenila (Z9-12: OAc) com variação

de 1,2-1,3%, não apresentando diferença entre as duas cepas existentes de *S. frugiperda* (milho e arroz).

Além desses compostos Lima e McNeil (2009) encontraram na Luisiana o acetato (Z)-11-hexadecenil (Z11-16: OAc) emitido pelas fêmeas de *S. frugiperda* em concentrações diferentes, sendo dependente o tipo de cepa (milho ou arroz) e idade da fêmea. No Brasil, Batista-Pereira et al. (2006), encontraram Z9-14: OAc, Z7-12: OAc e E7-12: OAc em fêmeas localizadas em Piracicaba (São Paulo), indicando que E7-12: OAc é um componente ativo do feromônio sexual de *S. frugiperda*. Dessa forma, o sistema de comunicação sexual, mediado pelo feromônio, pode variar entre as populações geograficamente distintas e entre as linhagens de *S. frugiperda* (UNBEHEND et al., 2014). Levando em consideração essa variabilidade na concentração e/ou composição, é importante que haja estudos sobre a atratividade de diferentes compostos feromônais para a população de *S. frugiperda* do Mato Grosso, devido a grande importância do estado no cenário agrícola nacional.

Para o monitoramento, a captura de machos nas armadilhas é um indicativo de acasalamento no campo, oviposição e posteriormente a eclosão de lagartas, que irão danificar a cultura. Com base nesta informação, o produtor poderá decidir o momento ideal para fazer o controle da referida praga, evitando aplicações desnecessárias (CRUZ et al., 2012; GUERREIRO et al., 2014). Nessa perspectiva, o feromônio sexual pode auxiliar na diminuição dos impactos gerados pelo controle químico, pois pode indicar, a partir do monitoramento por armadilhas, a hora certa de realizar o controle.

Diante das problemáticas expostas, o objetivo geral deste trabalho foi estimar o risco ambiental dos inseticidas utilizados em sistemas agrícolas no estado de Mato Grosso e utilizar o feromônio sexual, como estratégia promissora de manejo de pragas. Para isso, foram desenvolvidos dois artigos: o primeiro com o objetivo de estimar o risco ambiental dos inseticidas mais comercializados no controle de lepidópteros-praga no estado de Mato Grosso; e o segundo artigo com objetivo de avaliar a eficiência de formulações do feromônio sexual de *S. frugiperda* nas principais *commodities* do estado, durante a safra 2020/21.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDO, T.; INOMATA, S.; YAMAMOTO, M. Lepidopteran sex pheromones. In: SCHULZ, I. S. (ed.). **The chemistry of pheromones and other semiochemicals**. Berlin: Springer, 2004, p. 51-96. DOI: 10.1007/b95449.
- ANDO, T.; YAMAKAWA, R. Analyses of lepidopteran sex pheromones by mass spectrometry. **Chemistry**, v. 30, n. 7, p. 990-1002, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2011.03.010>.
- BALOGH, M. N. *et al.* Mapping potential distribution of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in central Asia. **Insects**, v. 11, n. 3, p. 162-172, 2020. DOI: 10.3390/insects11030172.
- BARIZON, R. R. M. *et al.* Pesticides in the surface waters of the Camanducaia river watershed, Brazil. **Journal of Environmental Science and Health, part b**, v. 55, n. 3, p. 283-292, 2019. DOI: 10.1080/03601234.2019.1693835.
- BATISTA-PEREIRA, L. G. *et al.* Isolation, identification, synthesis, and field evaluation of the sex pheromone of the Brazilian population of *Spodoptera frugiperda*. **Journal of Chemical Ecology**, v. 32, n. 5, p. 1085–1099, 2006. DOI: 10.1007/s10886-006-9048-5.
- BENELLI, G. *et al.* Sex pheromone aerosol devices for mating disruption: challenges for a brighter future. **Insects**, v. 10, n. 10, p.1-16, 2019. DOI: 10.3390/insects10100308.
- BLASSIOLI-MORAES M. C. *et al.* Semiochemicals for integrated pest management. In: VAZ JUNIOR S. (ed). **Sustainable Agrochemistry**. Cham: Springer, 2019, p. 85–112. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-17891-8_3.
- BRAGA, A. R. C. *et al.* Global health risks from pesticide use in Brazil. **Nature Food**, v. 1, n. 6, p. 312–314, 2020. DOI: 10.1038/s43016-020-0100-3.
- CARVALHO, F. P. Pesticides, environment, and food safety. **Food and Energy Security**, v. 6, n. 2, p. 48-60, 2017. DOI: 10.1002/fes3.108.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: Décimo segundo levantamento, setembro 2021 – safra 2020/21. Brasília: Conab, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 01 out. 2021.
- CRUZ, I. *et al.* Using sex pheromone traps in the decision-making process for pesticide application against fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* [Smith] [Lepidoptera: Noctuidae]) larvae in maize. **International Journal of Pest Management**, v. 58, n. 1, p. 83-90, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09670874.2012.655702>.
- DEMIR, A. E. A.; DILEK, F. B.; YETIS, U. A new screening index for pesticides leachability to groundwater. **Journal of Environmental Management**, v. 231, p. 1193–1202, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.007>

frugiperda corn- and rice-strain males to pheromone lures. **Plos One.**, v. 9, n. 2, p. 1-11, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089255>.

GUERREIRO, A.; MALO, E. A.; COLL, J.; QUERO, C. Abordagens semioquímicas e baseadas em produtos naturais para o controle *Spodoptera* spp. (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Pest Science**, v. 87, p. 231-247, 2014. DOI: DOI 10.1007/s10340-013-0533-7.

HAENNIGER, S. *et al.* Sexual communication of *Spodoptera frugiperda* from west Africa: adaptation of an invasive species and implications for pest management. **Scientific Reports**, v. 10, p. 1-9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59708-7>.

HARDKE, J. T.; LORENZ, G. M.; LEONARD, B. R. Ecology of the cartridge caterpillar (Lepidoptera: Noctuidae) in southeast cotton. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2015. DOI: 10.1093/jipm/pmv009.

IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS. **Boletim de comercialização de agrotóxicos e afins**. 2020. Disponível em: <http://ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>. Acesso em: 12 abr. 2021.

IMEA. INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Boletim semanal** – soja. 28 de agosto de 2020/ nº 617. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado-detalhe?c=4&s=809881640863047681>. Acesso em: 22 out. 2020.

ISCA TECNOLOGIAS. **Feromônios**. Disponível em: <http://www.isca.com.br/pt/produtos/c/0b8798a5-6418-4019-8003-31bbcb960430/agricultura>. Acesso em: 04 jan. 2022.

KUDSK, P.; JORGENSEN, L. N.; ORUM, J. E. Pesticide Load - a new danish pesticide risk indicator with multiple. **Land Use Policy**, v. 70, p. 384-393, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.010applications>.

LIMA, E. R.; McNEIL, J. N. Female sex pheromones in the host races and hybrids of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Chemoecology**, v. 19, p. 29-36, 2009. DOI 10.1007/s00049-009-0005-y.

MAHMOOD, I. *et al.* Effects of pesticides on environment. In: Hakeem, K. R. *et al.* (Eds.), **Plant, soil and microbes**. Switzerland: Springer International Publishing, 2016, p. 253-269. DOI: 10.1007/978-3-319-27455-3_13.

MATTHEWS, R. W.; MATTHEWS, J. R. **Insect behavior**. 2^a ed. New York: Springer, 2010, p. 258.

NEVES, Marcos Fava. **Ferramentas para o futuro do agro: Estratégias para posicionar o Brasil como fornecedor mundial sustentável de alimentos, bioenergia e outros agroprodutos**. Editora Gente, 2021.

ONWONA-KWAKYE, M.; HOGARH, J. N.; BRINK, P. J. V. Environmental risk assessment of pesticides currently applied in Ghana. **Chemosphere**, v. 254, p. 1-12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126845>.

PEDIGO, L. P.; RICE, M. E. KRELL, R. K. **Entomology and pest management**. 6^a Edition, Illinois: Long Grove, 2021. p.179.

SAMUEL O. *et al.* **Indicateur de Risque des Pesticides du Québec-IROeQ-Santé et Environnement**. 2^a ed. Québec: Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, 2012, 48p.

SCHAAF, A. A. Valoración de impacto ambiental por pesticidas agrícolas. **Observatorio Medioambiental**, v. 18, p. 87-96, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.5209/rev_OBMD.2015.v18.51283.

SOARES, D. F.; FARIA, A. M.; ROSA, A. R. Análise de risco de contaminação de águas subterrâneas por resíduos de agrotóxicos no município de Campo Novo do Parecis (MT), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 277-284, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522016139118.

THOMAZINI, M. J. A comunicação química entre os insetos: obtenção e utilização de feromônios no manejo de pragas. In: GONCALVES, R. C.; OLIVEIRA, L. C. de (ed.). **Embrapa Acre: ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável do sudoeste da Amazônia**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2009, p. 338-354.

TIANMENG, L. *et al.* Land-use change drives present and future distributions of Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Science of the Total Environment**, v. 706, p. 1-56, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135872>.

UNBEHEND, Melanie *et al.* Geographic variation in sexual attraction of *Spodoptera frugiperda* corn-and rice-strain males to pheromone lures. **PloS one**, v. 9, n. 2, p. e89255, 2014.

VASÍCKOV, J. *et al.* Ecological risk assessment of pesticide residues in arable soils of the Czech Republic. **Chemosphere**, v. 216, p. 479-487, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.158>.

ZARBIN, P. H. G.; RODRIGUES, M. A. C. M.; LIMA, E. R. Feromônio de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 722-731, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300016>.

ARTIGO 1

Índice de risco ambiental dos principais inseticidas utilizados no estado de Mato Grosso

[Anais da Academia Brasileira de Ciências]

RESUMO: Mato Grosso se destaca entre os maiores consumidores de pesticidas do Brasil. Embora seja evidente a contribuição destes controle fitossanitário, existe uma preocupação constante com a contaminação ambiental devido ao uso intensivo destes compostos. Nesse sentido, identificar as consequências dos pesticidas no ambiente podem auxiliar na gestão de riscos, sendo o Índice de Risco Ambiental (IRA) uma forma indireta de conhecer o potencial dessas substâncias. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o IRA dos inseticidas mais comercializados no estado de Mato Grosso para o controle de lepidópteros-praga. A pesquisa destacou 24 inseticidas com montante anual de 23.046.348 kg, sendo o acefato o primeiro no *ranking* com 8.974.413 kg comercializados em 2020. Apesar de muito consumido, apresentou o menor IRA, devido a baixa persistência, lixiviação e volatilidade, porém seu ponto crítico foi a toxicidade animal. A malationa, metoxifenoza, clorantraniliprole, flubendiamida e beta-ciflutrina obtiveram maior IRA, com fator crítico relacionado ao perfil toxicológico e persistência no ambiente. De modo geral, todas as substâncias apresentaram níveis de toxicidade de médio a muito alto, diante disso, gerir os riscos dos inseticidas e optar por aqueles que causam menor impacto no ambiente é fundamental para minimizar os danos aos agroecossistemas.

PALAVRAS- CHAVE: Ecotoxicologia, Pesticidas, Estimativa de Risco.

Environmental risk index of the main insecticides used in the state of Mato Grosso

[Anais da Academia Brasileira de Ciências]

ABSTRACT: Mato Grosso stands out among the largest consumers of pesticides in Brazil. Although their contribution to phytosanitary control is evident, there is a constant concern with environmental contamination due to the intensive use of these compounds. In this sense, identifying the consequences of pesticides on the environment can help in risk management, with the Environmental Risk Index (ERI) being an indirect way of knowing the potential of these substances. Thus, the objective of this work was to evaluate the ERI of the most commercialized insecticides in the state of Mato Grosso for the control of lepidopteran pests. The research highlighted 24 insecticides with an annual amount of 20,249,521.90 kg, with acephate being the first in the ranking with 7,510,195.125 kg marketed in 2020. This insecticide, despite being widely consumed, had the lowest ERI due to low persistence, leaching and volatility, but its critical point was animal toxicity. Malathione, methoxyfenozide, chlorantraniliprole, flubendiamide and beta-cyfluthrin had the highest ERI, with a critical factor related to the toxicological profile and persistence in the environment. In general, all substances showed medium to extremely high toxicity levels, managing the risks of insecticides and choosing those that cause less impact on the environment is essential to minimize damage to agroecosystems.

KEYWORDS: Ecotoxicology, Pesticides, Risk Estimate.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior consumidor de pesticidas no mundo, sozinho, Mato Grosso consumiu 108.167 toneladas de ingrediente ativo (i.a.) em 2019. Entre os dez pesticidas mais comercializados estão os inseticidas, acefato, malationa e clorpirifós (IBAMA, 2021). Apesar do papel importante desses compostos para a proteção dos cultivos e manutenção da produtividade, existe uma preocupação constante com a contaminação do ambiente e seus impactos causados na vida selvagem (DEMIR, DILEK, YETIS, 2019).

Ao correlacionar o consumo com os agravos à saúde verifica-se que quanto maior o gasto com pesticidas maior são os coeficientes de intoxicação aguda, subaguda e crônica da população (PIGNATI et al., 2017). Stehle e Schulz (2015), a partir de uma meta-análise, encontraram 11.300 inseticidas detectados em águas superficiais em todo o mundo, com 52,4% excedendo os níveis máximos recomendados.

Ambientalmente, quando pulverizados, os pesticidas podem ser dispersos por processos de degradação, volatilização, escoamento superficial, lixiviação, absorção ou podem permanecer adsorvidos no solo (MAHMOOD et al., 2016). Portanto, há um grande esforço científico para a construção do conhecimento sobre a dinâmica dessas substâncias no ambiente no que tange a identificação dos potenciais impactos dos pesticidas para minimizar os riscos para os eco e agrossistemas (ERNST et al., 2018), uma vez que, quando essas substâncias não atingem o alvo elas podem representar uma fonte de contaminação ambiental. Estudos como o de Codling et al. (2016) e Hamadache et al. (2018), alertam que doses extremamente baixas de pesticidas podem causar letalidade para organismos não-alvos importantes na manutenção do ecossistema.

Nesse sentido, identificar os danos dos pesticidas no ambiente por meio de uma triagem toxicológica pode auxiliar na mitigação de seus efeitos deletérios. Esse impacto pode ser estimado pelo Índice de Risco Ambiental (IRA), que avalia o potencial de dano toxicológico e ambiental dos inseticidas por meio de parâmetros disponíveis na literatura, afim de se estabelecer o impacto de cada pesticida no ambiente (DAMALAS, ELEFTHEROHORINOS, 2011).

Paralelamente, existem diferentes métodos de avaliação destes índices. Strassemeyer (2017) cita ao método da razões de risco e sistemas de classificação

no qual atribui valores para cada nível de exposição com intuito avaliar o risco para vários segmentos ambientais como água subterrânea ou água superficial, ar, solo superficial, subsolo, sedimento e biota. Onwona-Kwakye, Hogarh e Brink (2020) usaram a avaliação de risco futuro e identificaram que muitos pesticidas usados pelos agricultores no manejo fitossanitário, podem representar risco agudo ou crônico para o ambiente aquático e terrestre de áreas adjacentes às culturas, especialmente áreas tratadas com os inseticidas lambda cialotrina, clorpirifós, cipermetrina e dimetoato.

Além disso, modelos de avaliação de risco ecológico dos pesticidas para organismos aquáticos perto de plantações, apontam que sete pesticidas são causadores de 90% dos riscos de toxicidade, sendo o fungicida difenoconazol, os herbicidas ametrina e diuron e os inseticidas carbaril, clorpirifós, diazinon e etoprofós, que apresentam altos riscos para os zooplânctons, macroinvertebrados, algas e macrófitas (RÄMÖ et al., 2016).

Dessa forma, propor uma triagem de inseticidas para selecionar substâncias de menor impacto, pode ser uma estratégia dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP), com objetivo de diminuir os riscos ambientais (BRÜHL, ZALLER, 2019). Essa tática pode ser relevante para o estado de Mato Grosso no qual, além de concentrar as maiores áreas cultivadas (CONAB, 2021a), é o maior consumidor de pesticidas do Brasil (MORAES, 2019).

Entre os compostos mais consumidos estão a classe dos inseticidas, principalmente para o manejo de lagartas. Todavia, as sucessivas aplicações de inseticidas têm exercido a seleção de indivíduos resistentes, e consequentemente afetado a vida útil dos inseticidas e prejudicado o manejo das pragas (BOLZAN et al., 2019; ABBADE NETO, 2021; GARLET, 2022; BUSS et al., 2022).

Portanto, fornecer informações que contribuam para o desenvolvimento de ferramentas de gestão que visem minimizar os impactos causados pelos inseticidas, são imprescindíveis para a manutenção da vida nos agroecossistemas. Por isso, este trabalho, tem como objetivo estimar o Índice de Risco Ambiental dos principais inseticidas utilizados nos sistemas agrícolas de Mato Grosso.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta de dados dos pesticidas

Os inseticidas mais utilizados em 2020 para o controle de lepidópteros-praga foram coletados junto ao Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso (INDEA),. Enquanto que, as características físico-químicas dos pesticidas foram obtidas através da base de dados *Pesticide Properties Database* (PPDB) da Universidade de Hertfordshire e *Pesticide Properties Database* (PPD) do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA, 2021). Sendo o PPDB frequentemente revisado por pares, interna e externamente, e cada registro é verificado pelo menos uma vez por ano quanto à exatidão em termos de dados (LEWIS et al., 2016).

2.2 Índice de risco ambiental (IRA)

Os fatores considerados para estimar o risco potencial dos inseticidas foram persistência no solo, adsorção, volatilização, solubilidade em água, solubilidade em solvente orgânico e perfil toxicológico. Com base nesses valores foi possível avaliar o risco ambiental de cada inseticida. Para isso, foi usada a equação linear de Índice de Risco Ambiental (IRA), descrita por Alister e Kogan (2006) (Quadro 1). Sendo cada parâmetro apresentado nos tópicos a seguir.

Quadro 1. Equações utilizadas para construção do Índice de Risco Ambiental (IRA).

Parâmetro	Equação	Descrição
Índice de Risco Ambiental (IRA)	$IRA = (P+L+V+TP) D$ (1)	P: persistência L: lixiviação V: volatilização PT: perfil toxicológico D: dose
Persistência (P)	$K = 0,693/DT_{50}$ (2)	K: taxa de degradação DT ₅₀ : persistência (Tabela 1) 0,693: constante de proporcionalidade
Lixiviação (L)	$LIX = e^{(-k \cdot K_{oc})}$ (3)	K: taxa de degradação K _{oc} : coeficiente de adsorção normalizado em relação ao teor de carbono orgânico do solo
Volatilização (V)	$V = 2,9 \times 10^{-3} P M^{0,5}$ (4)	P: é a pressão de vapor M: peso molecular do pesticida
Perfil Toxicológico (PT)	$PT = K_{ow} + Rfd + LD_{50} + AT$ (5)	K _{ow} : coeficiente de partição octanol-água Rfd: dose de referência LD ₅₀ : dose letal aguda para humanos AT: toxicologia animal

Fonte: Adaptado de Alister e Kogan (2006).

2.2.1 Persistência

A persistência do solo é caracterizada para cada pesticida através de sua média DT₅₀. Muitos autores tratam a persistência (DT₅₀) como a meia-vida ($t_{1/2}$) que se refere ao tempo necessário, em dias, para que 50% da concentração inicial do pesticida seja mineralizada (ALISTER, KOGAN, 2006). O modelo de equação para persistência de pesticidas simplificado por Alister e Kogan (2006) está representado no quadro 1.

2.2.2 Lixiviação

O índice GUS (Groundwater Ubiquity Score) é um índice de vulnerabilidade de águas subterrâneas, proposto por Gustafson (1989), ele classifica os compostos de acordo com sua tendência de lixiviação. Pesticida com GUS <1,8 são considerados não lixiviáveis, ao passo que índices superiores a 2,8 representam produtos

lixiviadores. Aqueles com valores entre 1,8 e 2,8 são considerados intermediários (GUSTAFSON, 1989). No entanto, GUS tem uma deficiência devido à previsão de valores negativos anômalos para pesticidas com meia-vida curta e / ou coeficiente de sorção alto (SPADOTO, 2002).

Por isso, esse mesmo autor propôs um novo método de avaliação do índice de lixiviação denominado LIX, limitando-o à triagem de pesticidas, mostrando quais compostos requerem mais atenção na determinação do potencial de lixiviação. Nesse índice, é oferecido uma série de valores limitando o potencial de lixiviação em máximo e mínimo. Este índice, identifica inseticidas não lixiviáveis ($LIX = 0$) e lixiviáveis ($LIX \geq 0,1 - 1,0$) (SPADOTO, 2002). Sua fórmula considera o k como a constante de degradação de primeira ordem do pesticida no solo (Quadro 1) e será o método escolhido para esse trabalho.

2.2.3 Volatilidade

A volatilização é o processo pelo qual o pesticida é transportado para a atmosfera, devido à passagem das substâncias do estado líquido para a forma de vapor (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2008). Essa pressão de vapor dos pesticidas determina a distribuição da parte que será evaporada para a atmosfera e a que será depositada sobre a fase líquida ou sólida do solo (DUCHOWICZ, 2019). O potencial de volatilização pode ser calculado como a taxa de perda no campo, usando a fórmula simplificada por Alister e Kogan (2006) (Quadro 1).

2.2.4 Dose

A dose representa a taxa do i.a. aplicada. Este é um fator importante, pois quanto maior a quantidade aplicada, maior será a carga química do pesticida no ambiente e, conseqüentemente, maior será o potencial de contaminação (ALISTER; KOGAN, 2006). Além disso, a dose também terá um efeito multiplicador sobre os outros componentes do IRA.

Para a equação do IRA foram utilizadas as dosagens máximas permitidas pela bula do composto para controle de lepidópteros-praga nas culturas da soja, milho e algodão, sendo atribuído notas de acordo com o grau de severidade (Tabela 1).

Tabela I. Grau de severidade, valores atribuídos e intervalos propostos por Alister & Kogan (2006) para cada termo do Índice de Risco Ambiental.

Grau de severidade		Classificação dos intervalos				
Categoria	Valores atribuídos	Persistência (P) (DT ₅₀ , dias)	Dose (D) (kg ia/ha ⁻¹)	Lixiviação (L) Índice LIX	Volatilidade (V) (mmHg)	Perfil Toxicológico (TP)
Baixo	1	≤ 30	≤ 1	≤ 0,09	≤ 10 ⁻⁶	≤ 8
Médio	2	30 ≤ 60	1 ≤ 2	0,09 ≤ 0,25	10 ⁻⁶ ≤ 10 ⁻⁵	8 ≤ 14
Alto	3	60 < 90	2 < 3	0,25 < 0,5	10 ⁻⁵ < 10 ⁻⁴	14 < 20
Muito alto	4	≥ 90	≥ 4	≥ 0,5	≥ 10 ⁻⁴	≥ 20

Fonte: Adaptado de Alister e Kogan. (2006).

2.2.5 Perfil toxicológico

Para cada termo do perfil toxicológico (PT), assim como para os demais parâmetros mencionados, foram atribuídos um valor (1, 2, 3 ou 4), que representam os níveis baixo, médio, alto e muito alto, respectivamente (Tabela 2). O somatório do perfil toxicológico poderá ir de 6 a um valor máximo de 24, enquanto que o Índice de Risco Ambiental (IRA) fica numa faixa teórica de 4 a 64 (ALISTER, KOGAN, 2006).

Tabela II. Grau de gravidade do pesticida, valores atribuídos e intervalos para cada termo de Perfil Toxicológico.

Grau de severidade		Classificação dos intervalos					
Categoria	Valores atribuídos	K _{ow} ^a Log K _{ow}	Rfd ^b mg kg ⁻¹ dia ⁻¹	DL ₅₀ ^c mg kg ⁻¹	DL ₅₀ ^d Ave mg L ⁻¹	DL ₅₀ ^e Abelha µg ab ⁻¹	CL ₅₀ ^f Peixe mg L ⁻¹
Baixo	1	≤ 1	≥ 0,1	≥ 4000	≥ 5000	≥ 100	≥ 100
Médio	2	1 ≤ 2	0,1 ≥ 0,01	4000 ≥ 400	5000 ≥ 500	100 ≥ 50	100 ≥ 50
Alto	3	2 > 3	0,01 > 0,001	400 > 40	500 > 50	50 > 25	50 > 10
Muito alto	4	≥ 3	≤ 0,001	≤ 40	≤ 50	≤ 25	≤ 10

A: Coeficiente de partição octonol-água (K_{ow}); B: Dose referente (Rfd); C: Dose letal dérmica (DL₅₀); D: Dose letal para *Anas platyrhynchos* (Anseriformes: Anatidae) e/ou *Colinus virginianus* (Galliformes: Odontophoridae); E: Dose letal para *Apis* spp. (Hymenoptera: Apidae); F: Concentração letal (CL₅₀) *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes: Salmonidae) e/ou *Lepomis macrochirus* (Perciformes: Centrarchidae). Adaptado de Alister e Kogan. (2006).

O coeficiente octonol-água (K_{ow}) é definido como a razão das concentrações de equilíbrio de uma substância dissolvida em um sistema de duas fases, que consiste em 1-octanol e água (CHESSELLS, HAWKER, CONNELL, 1991). Nesse caso, o octanol representa um substituto para o lipídio biótico e, portanto, dá uma aproximação a um coeficiente de partição lipídio biótico-água (DUCHOWICZ, 2019). Portanto, o K_{ow} permite quantificar o impacto potencial dos pesticidas em relação ao acúmulo nos ácidos graxos.

Enquanto que a dose referente (Rfd) é uma estimativa da quantidade de pesticida que pode ser ingerido em um período de 24 horas, sem que cause risco à saúde (MOXON et al., 2020). Quanto mais baixos são os valores da Rfd mais riscos ele gera para uma população exposta diariamente (ALISTER; KOGAN, 2006). Já na dose letal (DL₅₀), o subscrito 50 significa que a dose é agudamente letal para 50% dos animais que foram administrados o pesticida em condições controladas de laboratório (RAJ et al., 2013). Como referência à DL₅₀ nosso trabalho utilizou a dose letal dérmica, para ser incluída na equação do PT.

Para as abelhas a DL₅₀ é expressa em mg/abelha, e foi selecionado o valor mais baixo de toxicidade oral ou de contato para *Apis* spp. Para aves DL₅₀ aguda é expressa em mg/kg de peso corporal, e a escolha de dados foi para a espécie *Anas platyrhynchos*, em último caso, quando nenhum dado estava disponível para esta espécie, o DL₅₀ foi para *Colinus virginianus*. A Concentração letal (CL₅₀) para peixes é expressa em mg/L, e a espécie utilizada foi *Onchorynchus mykiss*, quando não encontrado valor nos bancos de dados selecionados, foi usado valor especificado para *Lepomis macrochirus*. Quanto mais tóxico o pesticida, menor será a DL₅₀ necessária para matar 50% da população avaliada (RAJ et al., 2013).

2.2.6 Caracterização de precipitação e temperatura em Mato Grosso

Os dados da pluviosidade mensal e da média de temperatura foram coletados junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo utilizadas informações de quinze estações meteorológicas espalhadas pelo estado de Mato Grosso (Tabela 3). O objetivo dessa pesquisa foi obter as características meteorológicas ao longo do ano para dar suporte na discussão do trabalho.

Tabela 3. Local das estações meteorológicas utilizadas para análise de precipitação e temperatura em Mato Grosso.

Nome	Código	Latitude	Longitude
Cuiabá	A901	15° 33' 33.462"S	56° 3' 46.624"O
Tangará da Serra	A902	14° 39' 0.000"S	57° 25' 54.000"O
Alto Araguaia	A909	17° 20' 22.000"S	53° 13' 28.000"O
Querência	A916	12° 37' 38.000"S	52° 13' 15.000"O
Juína	A920	11° 22' 30.454"S	58° 46' 29.226"O
São Felix do Araguaia	A921	11° 37' 8.000"S	50° 43' 40.000"O
Vila Bela da Santíssima Trindade	A922	15° 3' 46.000"S	59° 52' 23.000"O
Primavera do Leste	A923	15° 34' 48.000"S	54° 22' 52.000"O
Carlinda	A926	9° 58' 14.000"S	55° 49' 39.000"O
Guiratinga	A932	16° 20' 30.000"S	53° 45' 58.000"O
Porto Estrela	A935	15° 19' 29.000"S	57° 13' 33.000"O
Pontes e Lacerdas	A937	15° 14' 4.000"S	59° 20' 46.000"O
Cáceres	A941	16° 4' 29.000"S	57° 41' 35.000"O
São José do Xingu	A942	10° 29' 3.000"S	52° 22' 21.000"O
Serra Nova Dourada	A943	11° 59' 16.000"S	51° 25' 34.000"O

Fonte: INMET 2021.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 2020, os inseticidas mais utilizados para o controle de lepidópteros-praga em Mato Grosso incluíram 10 grupos químicos e 24 ingredientes ativos (i.a.) (Tabela 4). O acefato, malationa, clorpirifós e metomil foram os mais comercializados, ultrapassando uma massa total de 19,9 milhões de kg, de acordo com os dados disponibilizados pelo Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso (INDEA, 2021). O órgão não especificou a quantidade de inseticidas por cultura, mas como as possuem maior extensão de área cultivada no Mato Grosso de acordo com o CONAB, (2021b) são soja (10.297 mil ha), milho (5.884 mil ha) e algodão (961 mil ha), estas culturas serão consideradas as principais consumidoras de inseticidas no estado para fins de discussão.

Como indicado na Tabela 4, do total dos i.a. avaliados, 75% possuem classificação ambiental II indicando produto muito perigoso, com grau elevado de toxicidade para algas, animais aquáticos, abelhas e outros insetos benéficos. Vale ressaltar que nesta classificação está o acefato, malationa, clorpirifós, metomil, lambda-cialotrina, bifentrina, clorfenapir, profenofós, tiodicarbe, zeta-cipermetrina, cipermetrina, clorantraniliprole, alfa-cipermetrina, diflubenzurom, teflubenzurom, permetrina, beta-ciflutrina e espinetoram. Os outros 25% estão na classe III, ou seja, perigoso e altamente tóxico para microcrustáceos, peixes e abelhas (AGROFIT, 2021). Nesta classificação está o triflumurom, lufenurom, flubendiamida, metoxifenoazida, ciantraniliprole e indoxacarbe.

As propriedades físico-químicas dos inseticidas para a realização do IRA estão representadas na Tabela 5. Em relação à meia vida (DT_{50}) as maiores taxas de degradação foram para a malationa, clorfenapir, espinetoram, diflubenzurom, acefato, indoxacarbe, profenofós, clorpirifós, teflubenzurom, tiodicarbe, zeta-cipermetrina, cipermetrina, lambda-cialotrina e triflumurom, que consequentemente são classificados como não persistentes, pois a DT_{50} foi inferior à 30 dias (GAVRILESCU, 2005).

Quanto ao metomil, bifentrina, alfa-cipermetrina, permetrina, beta-ciflutrina, ciantraniliprole e metoxifenoazida, eles são considerados moderadamente persistente ($DT_{50} > 30$ e < 100 dias). Por outro lado, as menores taxas de degradação foram para o clorantraniliprole, lufenurom e a flubendiamida, representando o grupo de inseticidas considerados persistentes no solo, com DT_{50} muito superior à 100 dias

(GAVRILESCU, 2005). No caso do clorantraniliprole e lufenurom são necessários 204 e 256 dias, respectivamente, para que metade da concentração seja degradada, enquanto que para a flubendiamida são 500 dias.

Tabela 4. Principais inseticidas utilizados no estado de Mato Grosso no ano de 2020 para controle de lepidópteros-praga.

Ingrediente ativo (i.a.)	Grupo químico	Quantidade Total* Comercializada (kg)	Classificação** Ambiental
Acefato	Organofosforado	8.974.413	II
Malationa	Organofosforado	6.127.675	II
Clorpirifós	Organofosforado	2.969.258	II
Metomil	Metilcarbamato de oxima	1.840.680	II
Lambda-cialotrina	Piretróide	675.945	II
Bifentrina	Piretróide	395.286	II
Clorfenapir	Análogo de Pirazol	349.869	II
Profenofós	Organofosforado	368.987	II
Tiodicarbe	Metilcarbamato de oxima	262.498	II
Zeta-cipermetrina	Piretróide	191.826	II
Cipermetrina	Piretróide	150.305	II
Clorantraniliprole	Antranilamida	154.982	II
Triflumurom	Benzoiluréia	78.936	III
Lufenurom	Benzoiluréia	84.997	III
Flubendiamida	Diamida	56.008	III
Metoxifenoazida	Diacilhidrazina	52.113	III
Alfa-cipermetrina	Piretróide	52.445	II
Diflubenzurom	Benzoiluréia	50.080	II
Teflubenzurom	Benzoiluréia	41.698	II
Permetrina	Piretróide	38.212	II
Beta-ciflutrina	Piretróide	31.451	II
Espinetoram	Espinosinas	31.019	II
Ciantraniliprole	Antranilamida	39.572	III
Indoxacarbe	Oxadiazina	28.093	III
TOTAL:		23.046.348	

* Dados obtidos junto ao Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso - INDEA.

** Classificação ambiental de acordo com registro de produtos formulados (Agrofit – MAPA).

É importante destacar que a persistência desses inseticidas sob condições de clima tropical podem variar. Das e Mukherjee (2012), revelaram que a persistência da flubendiamida foi de 206,6 - 215,0 dias para solo franco arenoso seco e de 177,0 - 181,1 dias quando o solo está em capacidade de campo de 20,2%. Além do fator umidade, o aumento da degradação da flubendiamida também é influenciada pelo CO₂ elevado, altas temperatura e taxa de mineralização de carbono no solo.

Fazendo um paralelo com a realidade de Mato Grosso, que segundo a classificação de Köppen (1948) possui climas Am (tropical úmido/sub-úmido) e Aw

(tropical), pode-se inferir que a degradação da flubendiamida seria mais ágil, devido às condições extrínsecas ao inseticida, como o clima, pois o período de cultivo coincide com a estação chuvosa e altas temperaturas (Figura 1). Mas, ainda assim, não deixaria de ser classificada como persistente no ambiente (DAS, MUKHERJEE, 2012; MUKHERJEE, DAS; KUMAR, 2016). Esse mesmo paralelo pode ser estabelecido para a degradação do clorantianiliprole e lufenurom, que possuem 204 e 256 dias de DT_{50} , respectivamente.

Por isso, quando utilizado produtos persistentes é extramente importante obedecer as recomendações gerais de aplicação, não permitindo que derivas atinjam áreas habitadas, leitos de rios, canais ou reservatórios de água, criações de animais e áreas de preservação ambiental (AGROFIT, 2021). Outra estratégia viável seria o aumento no tamanho das gotas de pulverização que pode reduzir os índices de risco de deriva para alguns pesticidas e criar uma zona de amortecimento segura ao redor das áreas de conservação (BUENO, CUNHA, 2020).

Cabe aqui, fazer uma relação dos valores da taxa de degradação diária (K), pois estes são inversamente proporcionais à DT_{50} , ou seja, quanto maior a DT_{50} menor será o K e vice-versa. Desse modo, as menores taxas de degradação irão estar com os inseticidas mais persistentes no solo, como clorantianiliprole, lufenurom e flubendiamida, seguido pelos de moderada persistência à exemplo da beta-ciflutrina e bifentrina (Tabela 5).

Baseado no potencial de retenção dos pesticidas normalizado para o carbono orgânico, temos os inseticidas do grupo químico dos piretróides, análogo ao pirazol, espinosinas e as benzoilúreias (lufenurom, diflubenzuron e teflubenzuron), classificadas como não-móveis (Tabela 5) (LEWIS et al., 2016). De acordo com a classificação de Lewis, o metomil (K_{oc} 72) é considerado móvel, com pouca adsorção ao solo. Enquanto o ciantraniliprole (K_{oc} 241), acefato (K_{oc} 302), tiodicarbe (K_{oc} 351), clorantianiliprole (K_{oc} 362) e metoxifenoazida (K_{oc} 402), são considerados moderadamente móveis. Já a malationa (K_{oc} 1800), o profenofós (K_{oc} 2016), a flubendiamida (K_{oc} 2197) e o triflumuron (K_{oc} 2967) são classificados como ligeiramente móveis.

O K_{oc} é, portanto, um indicativo da mobilidade dos inseticidas não iônicos (neutro) no solo e pode apontar a hidrofobicidade do ingrediente ativo e, desta forma, ser usado para estimar ou prever a movimentação dos pesticidas e o seu comportamento em compostos orgânicos no ambiente (ALISTER et al., 2021;

ALFONSO, et al., 2017). Ao analisar esse parâmetro junto com a meia vida, temos inseticidas que são persistentes como o clorantraniliprole, lufenurom e flubendiamida, porém o K_{oc} os diferenciam entre moderadamente móvel, não-móvel e ligeiramente móvel, respectivamente. Assim, o clorantraniliprole e a flubendiamida teriam mais chances de sofrer lixiviação vertical do que o lufenurom, que por sua vez teria mais chance de sofrer lixiviação horizontal, por escoamento superficial.

Tabela 5. Propriedades dos inseticidas usados para calcular o Índice de Risco Ambiental - IRA.

Inseticida (i.a.)	DT ₅₀ ^a (dias)	K _{oc} ^a (ml g ⁻¹)	K ^b (1 dia)	Pressão de Vapor ^a (mmHg)	Dose ^c (kg i.a./ha)	Índice ^d LIX
Acefato	3	302	0,231	1,6 x 10 ⁻⁶	1,0	0,000
Malationa	1	1800	0,639	2,32 x 10 ⁻⁵	1,5	0,000
Clorpirifós	27,6	5509	0,025	1,07 x 10 ⁻⁵	0,480	0,000
Profenofós	7	2016	0,099	1,89 x 10 ⁻⁵	0,400	0,000
Metomil	42	72	0,016	5,40 x 10 ⁻⁶	0,430	0,305
Tiodicarbe	18	351	0,038	2,02 x 10 ⁻⁵	0,800	0,000
Lambda-cialotrina	27,6	5509	0,025	1,50 x 10 ⁻⁸	0,0075	0,000
Bifentrina	86,8	236610	0,008	1,33 x 10 ⁻⁷	0,080	0,000
Zeta-cipermetrina	10	22000	0,069	1,89 x 10 ⁻⁹	0,050	0,000
Cipermetrina	21,9	307558	0,032	5,08 x 10 ⁻⁸	0,250	0,000
Alfa-cipermetrina	42,6	288735	0,016	2,85 x 10 ⁻⁹	0,030	0,000
Permetrina	42	100000	0,016	5,25 x 10 ⁻⁸	0,125	0,000
Beta-ciflutrina	93,3	104491	0,007	2,10 x 10 ⁻¹⁰	0,010	0,000
Clorfenapir	1,4	12000	0,495	7,35 x 10 ⁻⁸	0,360	0,000
Clorrantraniliprole	204	362	0,003	4,72 x 10 ⁻¹⁴	0,030	0,338
Ciantraniliprole	32,4	241	0,021	3,84 x 10 ⁻¹⁷	0,050	0,006
Triflumurom	22	2967	0,031	1,50 x 10 ⁻⁹	0,096	0,000
Lufenurom	256	41182	0,008	3,00 x 10 ⁻⁸	0,050	0,000
Diflubenzurom	3	6790	0,231	9,00 x 10 ⁻¹⁰	0,024	0,000
Teflubenzurom	13,7	26062	0,050	6,87 x 10 ⁻⁹	0,026	0,000
Flubendiamida	500	2197	0,001	7,5 x 10 ⁻⁷	0,072	0,111
Metoxifenoazida	68	402	0,010	9,97 x 10 ⁻⁸	0,150	0,994
Espinetoram	2,8	22836	0,247	4,27 x 10 ⁻⁷	0,018	0,000
Indoxacarbe	5,97	4483	0,116	7,35 x 10 ⁻¹¹	0,120	0,000

Legenda: A - Valores médios obtidos no *Pesticide Properties DataBase* (PPDB) da *University of Hertfordshire* e no *Pesticide Properties Database* do Departamento de Agricultura dos EUA (ARS). B - Valores calculados a partir do DT₅₀ de acordo com a Equação (3) [$K = 0,693/DT_{50}$]. C - Dose máxima utilizada para controle de Lepidópteros-praga. D - Índice de lixiviação calculado de acordo com a Equação (4) [$LIX = e^{-k \cdot K_{oc}}$].

Em sequência tem-se a pressão de vapor (P) (mmHg) dos inseticidas, a qual variou entre as ordens de grandeza de 10⁻⁵ (para malationa, clorpirifós, profenofós e tiodicarbe) a 10⁻¹⁷ (para ciantraniliprole) (Tabela 5). Quanto menor esse valor, menor

é a probabilidade de sofrer volatilização, neste caso, a maioria dos i.a. estudados possuem baixa possibilidade de permanência na atmosfera, de acordo com os dados disponíveis na literatura que abordou a pressão de vapor à 20° C (LEWIS et al., 2016). Vale destacar que a temperatura média de Mato Grosso está sempre acima de 20° C, próxima de 30° C de média no período de inverno (Figura 1), o que pode influenciar na pressão de vapor dos inseticidas, conforme demonstrado por Goel, McConnell e Torrents (2007).

Esses autores verificaram que a pressão de vapor tendem a aumentar com a mudança de temperatura de 20 para 40° C. Por exemplo, o clorpirifós-oxon (metabólito) aumenta em uma ordem de grandeza de $3,6 \times 10^{-3}$ para $2,8 \times 10^{-2}$ Pa, o que mostra sua suscetibilidade à mudanças de temperatura. Dessa forma, os principais inseticidas utilizados em Mato Grosso podem ter uma pressão de vapor maior, devido à elevada temperatura da região. Mas, fazer extrapolações é impreciso, sendo necessária a determinação experimental da pressão de vapor relacionada à temperatura local para confirmar essa suposição.

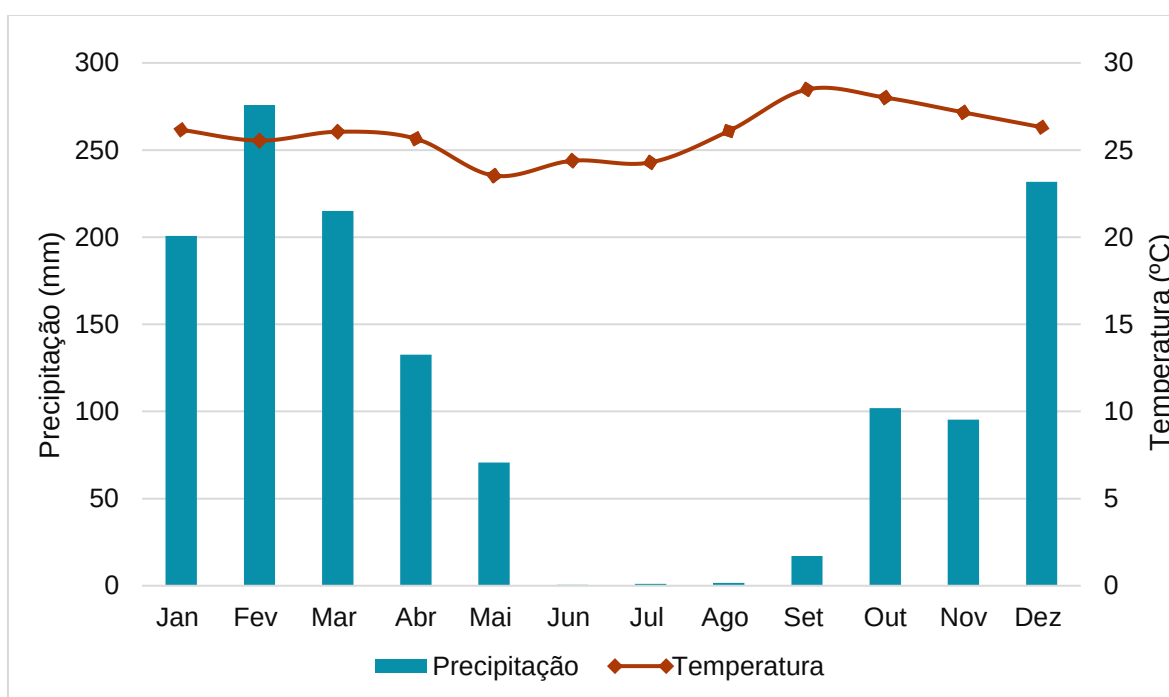


Figura 1. Médias de precipitação e temperatura das 15 estações avaliadas no ano de 2020. Fonte: INMET (2021).

Entre os inseticidas com maior dose de i.a. aplicado por hectare, estão malationa, acefato, tiodicarbe, clorpirifós, profenofós e clorfenapir, com dose de 1,500, 1,000, 0,800, 0,480, 0,400 e 0,360 kg de i.a., respectivamente (Tabela 5). Como

consequência disso, estão entre os nove com maior valor acumulado de uso em Mato Grosso (Tabela 4). O restante dos inseticidas apresentaram dose abaixo de 0,250 kg de i.a./ha, mas isso não indica menor consumo. Pois, no caso da lambda-cialotrina (0,0075 kg/ha), apesar da menor quantidade recomendada, ela ocupa o 6º lugar no *ranking* de comercialização de inseticidas para o controle de lepidópteros-praga, com mais de 542 mil kg (Tabela 4). Contudo, apesar de doses muito baixa indicar alta letalidade, a vantagem desse inseticida é a rápida dissipação no ambiente, que indica que a degradação se dá inicialmente por processos químicos de fotólise e hidrólise (HE, et al., 2008).

Quanto aos inseticidas com potencial de lixiviação (L), destacam-se a metoxifenoazida (0,994), clorantraniliprole (0,338), metomil (0,305) e flubendiamida (0,111), os demais i.a. tiveram valores iguais ou muito próximo à zero, que representa potencial mínimo de lixiviação (Tabela 5). Essa característica indica a mobilidade vertical dos pesticidas no solo, sendo influenciada diretamente pelo K_{oc} , que é usado juntamente com a taxa de degradação diária para estimar a lixiviação. É importante notar que os quatro inseticidas com potencial de lixiviação tiveram algum nível de mobilidade, quando analisado o K_{oc} isoladamente.

Porém, o transporte no solo depende de mais parâmetros vinculados às propriedades físico-químicas dos inseticidas tais como a solubilidade em água (S_w), pressão de vapor (P) e coeficiente de partição octonol-água (K_{ow}), além das condições ambientais relacionadas ao clima, precipitação, tipo de solo (pH e teor de matéria orgânica), topografia do terreno e às práticas de manejo executadas no local (RIBEIRO, et al. 2007; WANG, ZHANG, 2017).

Em relação a S_w , quanto mais alta, ligada a um baixo valor de K_{oc} , mais facilmente os compostos se movem no perfil do solo (SABIK, JEANNOT, RONDEAU, 2000). Nesse sentido, de acordo com a classificação da solubilidade dos inseticidas, tem-se destaque para o metomil (K_{oc} 72) e o acefato (K_{oc} 302), que apresentaram alta S_w , indicando potencial de contaminação das águas subterrâneas. Contudo, desses dois i.a. somente o metomil (LIX = 0,305) foi classificado com alto risco de lixiviação, reforçando seu perigo ao ambiente, sendo o acefato (LIX = 0,000) categorizado com baixa possibilidade de lixiviação pelo índice LIX, devido à sua alta taxa de degradação diária (k).

Então, mesmo o acefato sendo moderadamente móvel e altamente solúvel em água, ele possui algumas barreiras para lixiviar. Neste caso, alta temperatura, tipo

e teor de umidade do solo são fatores importantes na degradação do acefato (YEN, LIN, WANG, 2000; CHAI et al., 2010). Por exemplo, solos argilosos são mais difíceis de contaminar as águas subterrâneas com acefato, quando comparado com solos arenosos, pois estes, são mais sujeitos à lixiviação, tanto pelas características físico-químicas, como pelo aspecto biológico, que pode diminuir em até 10 vezes a taxa de degradação do acefato, aumentando o risco de lixiviação deste inseticida (CHAI et al., 2010). Dessa forma, devido ao potencial hídrico do estado de Mato Grosso é muito importante conhecer e evitar os riscos ocasionados pelas aplicações de insetidas, a fim de preservar a qualidade das águas subterrâneas, uma vez que o estado abrange 20,7% da bacia hidrográfica Amazônica, 52% da bacia Alto-Paraguai e 14,3% da bacia Tocantis-Araguaia (ZSEE, 2018).

Tabela 6. Solubilidade em água (Sw) e ionização dos inseticidas avaliados.

Inseticida (i.a.)	Sw (mg L ⁻¹)	Classificação da Sw*	pka	Ionização
Acefato	790000	alta	8,35	Ácido fraco
Malationa	148	moderada	-	Não iônico
Clorpirifós	1,05	baixa	-	Não iônico
Profenofós	28	baixa	-	Não iônico
Metomil	55000	alta	-	Não iônico
Tiodicarbe	22,20	baixa	-	Não iônico
Lambda-cialotrina	0,005	baixa	-	Não iônico
Bifentrina	0,001	baixa	-	Não iônico
Zeta-cipermetrina	0,039	baixa	-	Não iônico
Cipermetrina	0,009	baixa	-	Não iônico
Alfa-cipermetrina	0,004	baixa	-	Não iônico
Permetrina	0,20	baixa	-	Não iônico
Beta-ciflutrina	0,0019	baixa	-	Não iônico
Clorfenapir	0,112	baixa	-	Não iônico
Clorraniliprole	0,88	baixa	10,88	Ácido muito fraco
Ciantraniliprole	14,20	baixa	8,80	Ácido fraco
Triflumurom	0,04	baixa	-	Não iônico
Lufenurom	0,046	baixa	10,20	Ácido muito fraco
Diflubenzurom	0,08	baixa	-	Não iônico
Teflubenzurom	0,01	baixa	9,20	Ácido fraco
Flubendiamida	0,029	baixa	-	Não iônico
Metoxifenoazida	3,30	baixa	12,20	Ácido muito fraco
Espinetoram	29	baixa	7,7	Ácido fraco
Indoxacarbe	0,20	baixa	-	Não iônico

* Classificação de solubilidade de acordo com o *Pesticide Properties Database* (PPDB) da Universidade de Hertfordshire, onde ≤ 50 mg L⁻¹ = baixa; 50 – 500 mg L⁻¹ = moderada; > 500 = alta solubilidade.

Outro fator importante para o comportamento dos pesticidas no ambiente se

refere à possibilidade de ionização das moléculas, pois, pesticidas ionizáveis se comportam diferente dos não ionizáveis (DE OLIVEIRA, BRIGHENTI, 2011). No caso dos inseticidas avaliados, a maioria são classificados como não iônicos, ou seja, eles não doam e nem recebem prótons na solução, mantendo-se na sua forma molecular. Isto é explicado pelo fato dessas moléculas serem mais lipofílicas, o que está diretamente relacionado ao coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) dessas moléculas (COMER, CHAMBERLAIN, EVANS, 1995). Cabe salientar que esse caráter hidrofóbico é o principal mecanismo sorção dos compostos não iônicos em solos (PIASAROLO, RIGITANO, GUERREIRO, 2008).

Além das propriedades físico-químicas, foram coletados também os parâmetros toxicológicos dos inseticidas, que inclui o K_{ow} , dose de referência (Rfd), dose letal (DL_{50}) e a toxicologia animal (AT), com os dados de cada i.a. apresentados na Tabela 7. A partir desse conjunto de informações foi possível construir o perfil toxicológico (PT) (Tabela 8), que será discutido adiante e usado no IRA.

Tabela 7. Parâmetros ecotoxicológicos* dos principais inseticidas utilizados no estado de MT.

Ingrediente ativo	Log $^{*}K_{ow}$	Rfd* mg kg ⁻¹ dia ⁻¹	DL ₅₀ * Dérmica mgkg ⁻¹	Toxicologia Animal		
				Ave ^a DL ₅₀ mgkg ⁻¹	Peixe ^b CL ₅₀ mgL ⁻¹	Abelha ^c DL ₅₀ µgab ⁻¹
Acefato	0,085	0,1	10000	350	110	1,78
Malationa	2,75	0,3	2000	359	0,018	0,16
Clorpirifós	4,7	0,005	1250	39,2	0,025	0,059
Profenofós	1,7	1,0	472	70	0,08	0,095
Metomil	0,09	0,0025	2000	24,2	0,63	0,16
Tiodicarbe	1,62	0,01	2000	2023	1,4	3,1
Lambda-cialotrina	4,7	0,005	1250	39,2	0,025	0,059
Bifentrina	6,6	0,03	54,5	1800	0,00026	0,016
Zeta-cipermetrina	6,6	0,125	2000	5124	0,00069	0,002
Cipermetrina	5,55	0,2	2000	9520	0,00151	0,023
Alfa-cipermetrina	5,8	0,04	2000	2025	0,0018	0,033
Permetrina	6,1	1,5	2000	9800	0,0125	0,024
Beta-ciflutrina	5,85	0,01	2000	170	0,000068	0,012
Clorfenapir	4,83	0,015	2000	10	0,007	0,12
Clorantiraniliprole	2,86	0,2	5000	2250	0,11	100
Ciantraniliprole	2,02	0,01	5000	2250	12,6	0,093
Triflumurom	4,9	0,014	5000	561	0,021	200
Lufenurom	5,12	0,015	2000	2000	29	200
Diflubenzurom	3,89	0,1	2000	5000	0,13	74,2
Teflubenzurom	4,3	0,016	2000	2250	0,0065	100
Flubendiamida	4,14	0,1	2000	2000	0,66	200
Metoxifenoazida	3,72	0,1	5000	2250	4,2	100
Espinetoram	4,2	0,1	5000	2250	2,69	0,024

Indoxacarbe	4,65	0,005	5000	73,5	0,17	3,1
-------------	------	-------	------	------	------	-----

*Os valores foram obtidos do *Pesticide Properties DataBase* (PPDB) da University of Hertfordshire e do *Pesticide Properties Database* (PPD) do Departamento de Agricultura dos EUA. A - refere-se à *Colinus virginianus* / *Anas platyrhynchos*. B - refere-se à *Oncorhynchus mykiss* / *Lepomis macrochirus*. C - refere-se à *Apis* spp.

O clorpirifós (21), lambda-cialotrina (21) e clorfenapir (20) apresentaram os maiores valores no perfil toxicológico, isso significa que entre os inseticidas avaliados estes são os mais tóxicos aos animais, ficando próximo à pontuação máxima de 24. Entre os fatores que influenciaram essa nota estão o Log K_{ow}, com risco muito alto de bioacumulação (4), acompanhado da Toxicologia Animal para ave, peixe e abelha (4), que indica impacto muito alto caso esses inseticidas atinjam a fauna (Tabela 8).

A bioacumulação é regida pelo Log K_{ow} dos i.a., quando ≥ 3 indica que eles são fortemente hidrofóbicos (MERCADO-BORRAYO et al., 2015). Essa característica é confirmada devido à baixa solubilidade em água do clorpirifós, lambda-cialotrina e clorfenapir (Tabela 6). Devido à sua lipofilicidade, eles podem facilmente ser absorvidos pelos animais, gerando prejuízos ao desenvolvimento, ou até ficar bioconcentrados nas estruturas do solo (SABRA, MEHANA, 2015; DUCHOWICZ, 2019).

Um exemplo de absorção de inseticida lipofílico foi dado por Rossi et al. (2020), que encontraram bioacumulados em peixes a bifentrina (Log K_{ow} = 6,6), além de outros pesticidas, que juntos causam falhas no mecanismo antioxidativo em peixes da espécie *Markiana nigripinnis*, que acarretou em danos no fígado e nas brânquias. Além dos prejuízos nas funções biológicas, os peixes que demonstraram resistência à inseticidas piretróides, como a permetrina (Log K_{ow} = 6,1), acabaram aumentando o seu potencial de bioacumulação, se comparado com os peixes sensíveis à permetrina (MUGGELBERG et al., 2016). O que pode levar à transferência para predadores superiores ao longo da cadeia alimentar (YANG, LIM, SONG, 2021).

Em aves, os efeitos dos inseticidas são variáveis conforme testado por Eng, Stutchbury e Morrissey (2017), a ingestão de clorpirifós (25% da DL₅₀) em *Zonotrichia leucophrys*, gerou atrasos na migração, além de mudança da direção migratória (testes de cativeiro durante a migração da primavera). Como a migração é uma fase muito importante no ciclo de vida, os autores concluíram que as aves que usam habitats agrícolas para a alimentação, no período de migração, podem ficar suscetíveis à exposição de inseticidas neurotóxicos e exibirem declínio populacional pela perda da oportunidade de procriação, no caso de aves migratórias.

Tabela 8. Perfil toxicológico (PT)* construído a partir dos parâmetros ecotoxicológicos.

Ingrediente ativo	Parâmetros			Toxicologia Animal			Perfil Toxicológico*
	Log _{K_{ow}}	Rfd	DL ₅₀	Aves	Peixes	Abelhas	
Acefato	1	2	2	2	1	4	12
Malationa	3	1	2	2	4	4	16
Clorpirifós	4	3	2	4	4	4	21
Profenofós	2	1	2	3	4	4	16
Metomil	1	3	2	4	4	4	18
Tiodicarbe	2	2	2	2	4	4	16
Lambda-cialotrina	4	3	2	4	4	4	21
Bifentrina	4	2	3	2	4	4	19
Zeta-cipermetrina	4	1	2	1	4	4	16
Cipermetrina	4	1	2	1	4	4	16
Alfa-cipermetrina	4	1	2	2	4	4	17
Permetrina	4	1	2	1	4	4	16
Beta-ciflutrina	4	2	2	3	4	4	19
Clorfenapir	4	2	2	4	4	4	20
Clorantianiliprole	3	1	1	2	4	1	12
Ciantraniliprole	3	2	1	2	3	4	15
Triflumurom	4	2	1	2	4	1	14
Lufenurom	4	2	2	2	3	1	14
Diflubenzurom	4	1	2	2	4	2	15
Teflubenzurom	4	2	2	2	4	1	15
Flubendiamida	4	1	2	2	4	1	14
Metoxifenoazida	4	2	1	2	4	1	14
Espinetoram	4	1	1	2	4	4	16
Indoxacarbe	4	3	1	3	4	4	19

*PT - perfil toxicológico calculado conforme a Equação: $PT = K_{ow} + Rfd + LD_{50} + AT$. Os valores foram atribuídos de acordo com a tabela 02 de grau de severidade.

Na análise geral, o perfil toxicológico variou de 12 a 21 pontos (Tabela 8), sendo 75% dos inseticidas com alta ou muita alta toxicidade e os outros 25% com médio potencial, entre eles o acefato (12), clorantianiliprole (12), triflumurom (14), lufenurom (14), flubendiamida (14) e metoxifenoazida (14). A pontuação do acefato se deve principalmente pelo baixo Log K_{ow} (0,085), que o classifica como altamente solúvel em água (Tabela 6), com tendência de permanecer dissolvido na fase líquida do solo, sem passar para o colóide ou sedimento, ou bioconcentrar em organismos aquáticos, sendo mais propenso a biodegradação (DUCHOWICZ, 2019). Mas, ainda dentro da toxicologia animal, o acefato é considerado altamente tóxico para as abelhas (4), com DL₅₀ extremamente baixa (Tabela 7 e 8).

Já os demais inseticidas considerados de médio impacto, possuem baixa letalidade para as abelhas (Tabela 7 e 8). No caso do triflumurom, lufenurom e metoxifenoazida o modo de ação tem influência na baixa letalidade nas abelhas, que

reflete em DL₅₀ muito alta (Tabela 7). Esses inseticidas atuam nas fases jovens dos insetos, inibindo a biossíntese de quitina, exercendo atividade larvívica (Quadro 2).

Por esse motivo quando aplicados em adultos de *A. mellífera* são inócuos, o que pode fornecer uma margem de segurança em relação aos efeitos ecotoxicológicos (CARVALHO et al., 2009; SUN et al., 2015). Contudo, existe uma vasta diversidade de abelhas, e a sensibilidade entre as espécies podem mudar, pois a *A. mellífera* (espécie modelo), não é, necessariamente, uma representante confiável de outros polinizadores, principalmente para abelhas nativas (ARENA; SGOLASTRA 2014).

Quanto ao clorantropilprole e a flubendiamida que atuam por meio da ativação do receptor de rianodina, levam à liberação descontrolada de cálcio no citoplasma das células, resultando em interrupção da alimentação, contração muscular descontrolada, paralisia e morte (Quadro 2). Esses inseticidas são considerados seletivos à abelhas em relação aos lepidópteros, isso se deve à uma diferença na membrana do receptor que se liga à diamida nos himenópteros, o que leva à diminuição dessa ligação ao receptor de rianodina que consequentemente atribui baixa toxicidade para as abelhas (WILLIAMS, SWALE, ANDERSON, 2020).

Depois de analisados, os parâmetros inerentes aos pesticidas (ex. persistência, lixiviação, volatilidade e dose) e a ecotoxicologia animal (ex. perfil toxicológico), foi construído o Índice de Risco Ambiental (IRA). A Tabela 9 apresenta o IRA dos 24 inseticidas avaliados, que estão classificados do valor mais alto (12) para o mais baixo (5), de acordo com a estimativa de risco ambiental. Teoricamente esse índice pode ter valor mínimo de 4 e máximo de 64 (ALISTER, KOGAN, 2006). Neste sentido, todos os i.a. apresentaram baixo risco dentro da metodologia de índice proposta, mas esse resultado nos sinaliza cautela, pois nossa capacidade de avaliar adequadamente o risco dos pesticidas de forma individual ainda está longe de ser o desejável pela ciência (SÁNCHEZ-BAYO, TENNEKES, 2015).

Contudo, é possível identificar quais são os pontos críticos de cada substância e compará-las entre si, para que os profissionais técnicos de campo tenham subsídio para propor um manejo menos nocivo ao ambiente, por meio de tomada de decisão baseada no grau de risco que o inseticida representa.

Quadro 2. Classificação do modo de ação* dos inseticidas avaliados.

Grupo principal e Sítio de ação	Modo de ação	Grupo químico	Ingredientes ativos
1. Inibidores da Acetilcolinesterase (AChE)	A inibição da AChE causa elevação dos níveis de acetilcolina, levando à hiperexcitação e morte do inseto.	Organofosforados	Acefato Malationa Clorpirifós Profenofós
		Metilcarbamatos	Metomil Tiodicarbe
3. Moduladores dos canais de sódio	Mantêm os canais de sódio abertos, causando hiperexcitação e, em alguns casos, bloqueio do nervo.	Piretróides	Bifentrina Beta-ciflutrina Lambda-cialotrina Alfa-cipermetrina Permetrina Zeta-cipermetrina Cipermetrina
5. Moduladores alostéricos de receptores nicotínicos da acetilcolina (nAChR)	Ativa alostericamente os nAChRs, causando hiperexcitação do sistema nervoso.	Espinosinas	Espinetoram
22. Bloqueadores dos canais de sódio dependente de voltagem	Bloqueia os canais de sódio, causando paralisia e interrupção do sistema nervoso.	Oxadiazinas	Indoxacarbe
28. Moduladores de receptores de rianodina	Ativa os receptores musculares de rianodina, levando à contração e paralisia.	Diamidas	Flubendiamida
		Antranilamida	Clorantranilprole Ciantranilprole
15. Inibidores da biossíntese de quitina, tipo 0	Modo de ação incompletamente definido. Sabe-se que interfere na biossíntese de quitina durante a muda.	Benzoiluréias	Lufenurom Triflumurom Diflubenzurom Teflubenzurom
18. Agonista receptor da ecdsona	Regulador de crescimento, com forte evidência de que a ação nesta proteína é responsável pelo efeito inseticida.	Diacilhidrazina	Metoxifenoazida
13. Desacopladores da fosforilação oxidativa via interrupção do gradiente próton	Causam curto-circuito no gradiente de prótons mitocondrial de modo que o ATP não pode ser sintetizado.	Análogo ao Pirazol	Clorfenapir

* O esquema de cores associa o modo de ação com base nas funções fisiológicas afetadas no alvo. Azul: atua no sistema nervoso e muscular; Verde: crescimento e desenvolvimento; Rosa: respiração. Fonte: IRAC, 2017.

Por exemplo, a malationa (12) e o acefato (5), ambos do grupo químico dos

organofosforados, estão em pólos opostos dentro da tabela de classificação. Sendo a malationa o segundo inseticida mais vendidos em Mato Grosso para controle de lepidópteros praga. Dentre seus principais pontos críticos está a dosagem, que é mais elevada que o restante dos inseticidas e alto potencial de risco animal (Tabela 9). Tal como para organismos não-alvo, que podem ser afetados pelo contato direto ou indireto desse inseticida, sendo a rota de exposição o fator principal para determinar seus efeitos nos indivíduos (SÁNCHEZ-BAYO, 2011). Frazier et al. (2015), por exemplo, apontaram que o contato e/ou ingestão de malationa, resultou em um quociente de risco muito alto para as abelhas e ressaltaram o perigo para as que buscam alimentos em cultivos agrícolas, sobretudo em áreas de algodão.

Tabela 9. Índice de Risco Ambiental (IRA)* dos principais inseticidas usados no estado de Mato Grosso, colocado em ordem decrescente.

Grupo químico	Inseticida	P	L	V	PT	D	IRA*
ORGA ¹	Malationa	1	1	1	3	2	12
DIAC ⁸	Metoxifenoazida	3	4	2	2	1	11
ANTR ⁵	Clorantianiliprole	4	3	1	2	1	10
DIAM ⁷	Flubendiamida	4	2	1	2	1	9
PIRE ³	Beta-ciflutrina	4	1	1	3	1	9
BENZ ⁶	Lufenurum	4	1	1	2	1	8
CARB ²	Metomil	1	3	1	3	1	8
PIRE ³	Bifentrina	3	1	1	3	1	8
PIRE ³	Lambda-cialotrina	1	1	1	4	1	7
PIRE ³	Alfa-cipermetrina	2	1	1	3	1	7
ANTR ⁵	Ciantraniliprole	2	1	1	3	1	7
PIRE ³	Permetrina	2	1	1	3	1	7
ANPI ⁴	Clorfenapir	1	1	1	4	1	7
ORGA ¹	Clorpirifós	1	1	1	4	1	7
ORGA ¹	Profenofós	1	1	2	3	1	7
CARB ²	Tiodicarbe	1	1	2	3	1	7
OXA ¹⁰	Indoxacarbe	1	1	1	3	1	6
PIRE ³	Zeta-cipermetrina	1	1	1	3	1	6
PIRE ³	Cipermetrina	1	1	1	3	1	6
BENZ ⁶	Diflubenzurom	1	1	1	3	1	6
BENZ ⁶	Teflubenzurom	1	1	1	3	1	6
ESPN ⁹	Espinetoram	1	1	1	3	1	6
BENZ ⁶	Triflumurom	1	1	1	2	1	5
ORGA ¹	Acefato	1	1	1	2	1	5

P - persistência; L - lixiviação; V - volatilidade; PT - perfil toxicológico; D - dose. *IRA - índice de risco ambiental calculado para os inseticidas de acordo com a equação: $IRA = [(P+L+V+TP) \times D]$. Os valores foram baseados nas propriedades dos pesticidas (Tabela 04) e no perfil toxicológico (Tabela 05). Grupo químico: 1 - Organofosforado. 2 - Metilcarbamato. 3 - Piretróide. 4 - Análogo de Pirazol. 5 - Antranilamida. 6 - Benzoiluréia. 7 - Diamida. 8 - Diacilhidrazina. 9 - Espinosinas. 10 - Oxadiazina.

Dessa forma, apesar da malationa possuir DT_{50} de 1 dia, ela pode contaminar colônias de abelhas que têm contato com esse inseticida, especialmente aquelas que usam os cultivos para coleta de pólen, nesse caso, as frequentes aplicações desse i.a. exigem cuidados. Para diminuir os riscos aos polinizadores é recomendado que se faça a aplicação durante o crepúsculo ou de madrugada, antes que as abelhas comecem o período de forrageamento (PINHEIRO, FREITAS, 2010).

Quanto ao segundo maior IRA, ele foi atribuído para a metoxifenoazida (11), uma diacilhidrazina, do grupo IRAC 18, classificada como agonista do receptor da ecdisona (Quadro 2). A atividade inseticida desse i.a. é baseada na ligação de alta afinidade ao complexo receptor da ecdisona, especialmente em insetos da ordem Lepidoptera, onde funciona como um imitador do hormônio de muda desses insetos, evitando o desenvolvimento e levando a morte (CARLSON et al., 2001).

Por essa razão a metoxifenoazida é específica para lagartas, com pouco efeito adverso para uma ampla gama de insetos benéficos, como as abelhas (EFSA, 2017) (Tabela 8). Porém, estudos do efeito de doses subletais de metoxifenoazida sugerem que, embora possam não apresentar efeitos tóxicos diretos em abelhas adultas (*Apis mellifera*), eles podem afetar a eclosão dos ovos e a fisiologia das operárias, o que pode contribuir para o declínio populacional da colônia ao longo do tempo (FINE, 2020).

Na análise geral, o resultado da toxicologia animal da metoxifenoazida foi média, com destaque principal para alta toxicidade aos peixes (Tabela 8). Morawska, Ciesielski e Smarzewska (2021) provaram que a metoxifenoazida interage com o DNA do esperma de salmão, o que pode resultar em mutações da sequência de nucleotídeos do DNA. Mas o fator de risco maior desse i.a. está relacionado à alta persistência no ambiente e potencial de lixiviação muito alto (Tabela 8), podendo facilmente contaminar os recursos hídricos.

A persistência da metoxifenoazida simulada no ambiente aquático também é preocupante, sendo considerada muito alta, resultado da baixa degradação da substância, cerca de 7% do i.a. é dissipado após 30 dias de exposição aquática, a maior proporção desse inseticida fica na água (71,12%), seguido pelos sedimentos (27,02%), plantas aquáticas (1,81%) e peixe (0,05%) (CHEN et al., 2021). Esses autores ressaltam o papel da água, como fundamental no destino da metoxifenoazida, como ela tem a maior tendência a lixiviar ($LIX = 0,994$) seu uso em solos altamente permeáveis e com lençóis freáticos baixos pode resultar na contaminação das águas

subterrâneas.

Desse modo, recomenda-se cautela na aplicação desse inseticida, principalmente em solos arenosos, como é o caso da região norte do Pantanal mato-grossense, que possui solos com alta suscetibilidade a erosão, que é intensificada com as chuvas e manejo incorreto solo (SANTOS, et al. 2006). Esses fatores, podem intensificar os processos de erosão hídrica laminar, que é capaz de levar sedimentos de solo contaminados em direção aos principais rios do pantanal. Por isso, é imprescindível entender o efeito dos pesticida sobre o ambiente e seus principais compartimentos, a fim de mitigar os efeitos nocivos destes compostos.

No caso das diamidas e antranilamida, que atuam modulando os receptores de rianodina (Quadro 2), mesmo sendo considerados mais específicos, existem diferenças entre o grau de risco destes i.a. O clorantraniliprole, por exemplo, é o de maior IRA (10), ele foi lançado um ano após a flubendiamida, sendo um inseticida ainda mais potente no controle de lepidópteros (LAHM, CORDOVA, BARRY, 2009). Sua capacidade de lixiviação é alta ($LIX = 0,338$), sendo três vezes maior que a flubendiamida (Tabela 5).

A flubendiamida ($IRA=9$), por sua vez, foi a primeira diamida introduzida no mercado e tem atividade inseticida muito alta, devido à sua cadeia lateral de heptafluoro-isopropil que confere o seu caráter lipofílico ($\log K_{ow} = 4,14$) (JEANGUENAT, 2012). Apesar de apresentar toxicidade animal e capacidade de lixiviação vertical mediana ($LIX = 0,111$), ela tem um ponto mais crítico que é a persistência no ambiente ($DT_{50} = 500$ dias). A adsorção da flubendiamida no solo, é o que confere sua persistência, sendo maior a adsorção em solos com maior teor de carbono orgânico e argila (DAS, MUKHERJEE, KUMAR, 2015). Levando em consideração a região do Planalto dos Parecis em Mato Grosso, que é composta por solos como o Latossolos Vermelho-Amarelo, com textura que varia de argilosa, muito argilosa ou média, a concentração de resíduos de flubendiamida tenderia a ficar retida nesses solos, aumentando a possibilidade de ocorrer lixiviação por fluxo de massas (SOARES, FARIA, ROSA, 2017).

Já o ciantraniliprole ($IRA=7$) é um análogo ao clorantraniliprole, porém com menor persistência e baixo potencial de lixiviação (Tabela 9). Além de possuir menor IRA, outra vantagem do ciantraniliprole é o aprimoramento das propriedades inseticidas, que conferiu um espectro cruzado contra outras ordens de insetos, que vai além das pragas mastigadoras (lepidópteros), incluindo insetos sugadores de

seiva (hemípteros) e minadores de folhas (dípteros) (SELBY et al., 2013; SELBY, LAHM, STEVENSON, 2016; REDMOND, POTTER, 2017).

Dessa forma, considerando o aspecto geral do IRA a diamida de menor impacto é o ciantraniliprole, porém a desvantagem desse i.a. é que, diferentemente da flubendiamida e do clorantraniliprole, ele possui alto risco para as abelhas (Tabela 8), o que exige cuidado quanto ao horário das aplicações. Şimşek (2021) encontrou resultados importantes do impacto do ciantraniliprole em abelhas, quando aplicado no tratamento de sementes no milho. Foi verificado que esse i.a. era liberado pela planta pelo processo de gutação e que mesmo em doses extremamente baixas, este inseticida foi letal para as abelhas que se alimentaram dessa solução, sendo a DL_{50} de 0,011 μg / abelha após 48 horas de exposição. Cabe lembrar que a DL_{50} do ciantraniliprole, abordada para abelhas neste trabalho é de 0,093 (Tabela 7), portanto, pode-se presumir que quanto maior for o período de exposição das abelhas, menor será a dose capaz de causar a morte desses polinizadores.

Os inseticidas beta-ciflutrina (9) e a bifentrina (8) ficaram com o maior IRA entre os piretróides, devido a alta durabilidade dessas substâncias no ambiente (Tabela 9). A alfa-cipermetrina (7) e a permetrina (7) tiveram média persistência, sendo a lambda-cialotrina (7), zeta-cipermetrina (6) e cipermetrina (6), classificadas com baixa permanência no ambiente (Tabela 9). No caso da lambda-cialotrina, o que elevou o IRA (7) foi o perfil toxicológico muito alto para esse i.a. (Tabela 9).

Os inseticidas piretróides avaliados apresentam em comum a alta toxicidade para peixes e abelhas (Tabela 8). Para as abelhas sem ferrão *Melipona subnitida* e *Melipona scutellaris* a exposição à bifentrina é altamente tóxica, causando a morte de 100% dos indivíduos, no intervalo de duas a nove horas após contato com esse inseticida (ARAÚJO, 2019). Portanto, para protegê-las dentro de áreas agrícolas, é interessante estabelecer refúgios de floração perto das plantações, para ajudar a mitigar a exposição e os impactos dos pesticidas nas abelhas e em polinizadores nativos (FRAZIER et al. 2015).

Para os peixes, os efeitos tóxicos dos piretróides incluem estresse oxidativo e danos como, atraso no desenvolvimento, alterações bioquímicas, hematológicas e histopatológicas no cérebro, fígado e brânquias, assim como interrupção reprodutiva ou endócrina (ULLAH, et al., 2019). Apesar desses piretróides serem altamente tóxicos aos peixes, eles possuem baixo potencial de lixiviação vertical (Tabela 9), pode-se dizer, que a principal forma para entrarem em contato com o ambiente aquático seja pelo

processo de escoamento superficial, sendo necessárias boas práticas agrícolas, para impedir esse processo. Restrições ao uso indiscriminado de pesticidas, também podem desempenhar um importante papel na diminuição da contaminação de peixes em corpos d'água naturais (ULLAH, et al., 2015).

Entre as benzoiluréias o lufenurom foi o i.a. de maior IRA (8), com persistência muito alta no ambiente e de média toxicidade aos animais. O diflubenzurom e o teflubenzurom ficaram com o mesmo IRA (6), sendo o único fator de risco a toxicologia animal, especialmente para peixes. O triflumurom é a benzoiluréia de menor impacto no ambiente, com IRA de 5, são os inseticidas com médio potencial de dano aos animais (Tabela 8 e 9).

Os carbamatos tiodicarbe e metomil tiveram IRA de 7 e 8, respectivamente, possuem o mesmo modo de ação dos organofosforados (Quadro 2), que inibem a acetilcolinesterase, enzima responsável pela degradação da acetilcolina (neurotransmissor) em ácido acético + colina, na transmissão do impulso nervoso entre os neurônios (VAN SCOY et al., 2013). Esses inseticidas compartilham alta toxicidade aos animais, principalmente pelo seu amplo espectro de ação. O metomil, por exemplo, tem potencial de afetar o sistema endócrino dos peixes de forma irreversível, podendo prejudicar a via de síntese de esteróides sexuais em machos (MENG et al., 2016). Já o tiodicarbe provoca alterações histopatológicas nas brânquias e no fígado, causando necrose, degeneração e até ruptura de vasos sanguíneos (MARIYADASU, KUMARI, 2017).

Outro ponto crítico referente ao metomil é a alta capacidade de lixiviação, na literatura existem dados que atribuem de média a alta capacidade de lixiviação, isso irá depender das propriedades de cada tipo de solo, por exemplo, Ibrahim e Al-Turki (2020) ao realizarem o índice de lixiviação para o metomil, a partir de análises do solo local, encontraram médio potencial de percolação. Embora, no nosso trabalho, o metomil tenha alto potencial de lixiviar, esse resultado é uma estimativa, pois os dados de adsorção e mobilidade do solo variam de acordo com o pH, conteúdo de carbono orgânico e composição do solo, portanto, é normal que existam variações de lixiviação desse composto.

Em contrapartida, o tiodicarbe possui baixo potencial de lixiviar, mas com média capacidade de se volatilizar (Tabela 9). Dessa forma, as pulverizações devem obedecer as recomendações de aplicação do fabricante, como condições climáticas favoráveis, para evitar contaminações em organismos não-alvo, sendo fundamental o

uso dos EPIs para a segurança do aplicador (PAULA et al., 2021). Uma outra observação importante do tiodicarbe, é que seu principal metabólito é o metomil, que por sua vez tem alto potencial de lixiviação (Tabela 9), além de possuir mais que o dobro da meia vida do tiodicarbe (Tabela 5).

Estudos antigos já indicaram rápida degradação do tiodicarbe, tanto no solo ($DT_{50} = 1,5$ dias) como em ambiente aquático ($DT_{50} = 3,5$ horas), sendo o principal produto da degradação o metomil, que é muito mais móvel do que o tiodicarbe no ambiente (EPA, 1998). Portanto, é importante adotar práticas que minimizem o risco de lixiviação, como o incremento de matéria orgânica no solo e o uso de biochar (carvão vegetal), que ajudam reduzir a lixiviação e a diminuir a quantidade de pesticidas lançados no lençol freático (SADEGH-ZADEH, WAHID, JALILI, 2017).

Em relação aos organofosforados, clorpirifós e profenofós, ambos computaram 7 no valor do IRA, a diferença entre eles está no potencial de volatilização, onde o profenofós possui capacidade média de se volatilizar, enquanto o clorpirifós não tem essa característica (Tabela 9). Mas, ambos têm em comum a alta ou muita alta toxicidade para aves, peixes e abelhas. Devido ao modo de ação dos organofosforados (Quadro 2), que são capazes de inibir a acetilcolinesterase de vários organismos não-alvo, como peixes, abelhas, aves, cujas consequências são efeitos neurológicos, reprodutivos e de desenvolvimento adversos em animais (SOTO-MANCERA, ARELLANO, ALBENDÍN, 2020).

Huynh e Dayanthi (2012) ao analisarem o efeito do clorpirifós em bagres (*Tandanus tandanus*) verificaram o fraco crescimento dos peixes que pode ser resultado da baixa atividade da acetilcolinesterase após a exposição a esse composto. Em codornas (*Coturnix coturnix japonica*), Kulthe et al. (2018) verificaram que a ingestão de alimentos contaminados com 15 mg de clorpirifós, induziu toxicidade subaguda com diminuição significativa dos neutrófilos (glóbulos brancos).

Em abelhas como a *A. mellifera* e *A. cerana*, o clorpirifós prejudica significativamente as habilidades de aprendizado olfativo e retenção de memória das abelhas forrageiras, o que pode afetar o sucesso de forrageamento das abelhas expostas à este inseticida (LI et al., 2017). Para espécies nativas brasileiras como a *Melipona scutellaris*, o clorpirifós, foi letal provocando mortalidade de todas as abelhas em até duas horas após a aplicação (0,02 µL de calda) (ARAÚJO, 2019). Esses dados ressaltam a importância de atingir o alvo no momento da aplicação, para assegurar a proteção da vida animal e impedir efeitos letais ou subletais.

O espinetoram (grupo das espinosinas) e o indoxacarbe (oxadiazina), ficaram com IRA de 6, com ponto crítico para a toxicologia animal, o mesmo se repete para o clorfenapir (análogo ao pirazol), com IRA de 7, só que este é mais letal para aves do que os mencionados anteriormente (Tabela 8 e 9).

O acefato com IRA de 5, é o mais usado nas lavouras de soja e algodão no estado de Mato Grosso, com montante anual ultrapassando massa total 7,5 milhões de kg (Tabela 4). Esse menor índice é devido às características físico-químicas, como a baixa possibilidade de sofrer lixiviação vertical, mesmo sendo altamente móvel em água, ele tem tendência de não ser persistente, devido à sua rápida degradação (LEWIS, et al., 2016) (Tabela 9). Porém, isso não exclui a possibilidade do acefato sofrer lixiviação, principalmente em solos arenosos (CHAI et al., 2010). Assim como, durante a estação chuvosa, as fortes chuvas e solos encharcados também facilitam a lixiviação do acefato, o que torna as águas de Mato Grosso propensas à contaminação, pois o principal período de aplicação ocorre na estação chuvosa que vai de outubro à abril (Figura 1), o que facilitaria esse processo.

É importante observar que o ponto desfavorável do acefato é sua toxicidade animal, com perfil toxicológico (PT) classificado como mediano (Tabela 9). Porém, a maior preocupação a respeito dessa substância, é atribuída ao seu metabólito que é gerado no processo de degradação, o metamidofós, que também é um inseticida do grupo químico dos organofosforados, altamente tóxico (WANG et al., 2013; LIN et al., 2020). Por esse motivo o metamidofós foi proibido no Brasil em 2012, em decorrência da sua reavaliação toxicológica pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2011). Apesar de proibido no país, ele ainda está sendo lançado no ambiente, por meio dos metabólitos do acefato que gera o metamidofós no processo de degradação.

O uso intensivo e a exposição prolongada do acefato e do seu metabólito metamidofós, resultam em efeito cumulativo desses compostos no ambiente, que geram danos nos organismos não-alvo, como peixes, abelhas e aves (LIN et al., 2020). Que vão de alterações no DNA e diminuição da fertilidade à associação com transtornos e doenças (URIÓSTEGUI-ACOSTA et al., 2014; CTD, 2021). Sendo considerado um carcinógeno humano, baseado no aumento da incidência de carcinomas hepatocelulares e adenomas em camundongos (HSDB, 2021).

Dessa forma, considerando o principal metabólito do acefato, reavaliações de toxicologia desse inseticida são essenciais para diminuição dos riscos à saúde animal

e humana. Porém, enquanto seu uso é permitido no Brasil, recomenda-se boas práticas de manejo, como evitar pulverizações no florescimento pleno das culturas, para minimizar os efeitos tóxicos sobre as abelhas (PINHEIRO, FREITAS, 2010).

Diante do exposto, o Índice de Risco Ambiental (IRA) dos pesticidas avaliados estão distribuídos em ordem decrescente de acordo com a toxicidade, da seguinte forma: malationa > metoxifenoazida > clorantraniliprole > flubendiamida ≥ beta-ciflutrina > lufenurom ≥ metomil ≥ bifentrina > lambda-cialotrina ≥ alfa-cipermetrina ≥ ciantraniliprole ≥ permetrina ≥ clorfenapir ≥ clorpirifós ≥ profenofós ≥ tiodicarbe > indoxacarbe ≥ zeta-cipermetrina ≥ cipermetrina ≥ diflubenzurom ≥ teflubenzurom ≥ espinetoram > triflummurom ≥ acefato. Esses i.a. apresentam uma preocupação em comum, que está relacionado ao perfil toxicológico animal. Já em relação ao potencial de lixiviação vertical, apenas 4 (metoxifenoazida, clorantraniliprole, flubendiamida e metomil), apresentam essa capacidade de percolação perfil do solo (Tabela 9).

Vale ressaltar, que os outros i.a., apesar de não possuírem potencial de lixiviação, eles podem contaminar as águas superficiais, uma vez que podem ser carregados para os corpos hídricos, pelo escoamento superficial da água das chuvas, devido à falta de práticas conservacionistas (terraceamento, cobertura do solo, etc.) (GOUDA et al., 2019). Esses mesmos autores confirmam que apesar do i.a. possuir baixo potencial de lixiviar, a exemplo do clorpirifós, ele ainda pode ser encontrado sistematicamente em reservatórios de água próximo a cultivos agrícolas, assim como nos sedimentos.

Neste trabalho, o resultado final do IRA foi fortemente afetado pela dose dos inseticidas, pois este foi o fator de multiplicação dos demais parâmetros, como Persistência, Lixiviação, Volatilização e Perfil Toxicológico. Os valores das doses utilizadas foram baseadas em culturas anuais como soja, milho e algodão, que resultaram em doses baixas, gerando para a maioria dos inseticidas um fator de multiplicação de 1, dentro da equação do IRA. Um exemplo dado por Alister e Kogan (2006), que usando esse mesmo modelo de índice, para culturas anuais e florestais, tiveram doses superiores que aumentaram o valor do IRA, no caso do clorpirifós a dose que esses autores utilizaram foi de 1,44 kg.ha⁻¹ do i.a., sendo que no nosso trabalho a dose usada foi de 0,48 kg.ha⁻¹ do i.a.

Salienta-se, que esse índice estimou o potencial de risco de uma só aplicação, e que a realidade nos sistemas de cultivos no Brasil são de sucessivas aplicações, com início do uso de inseticida no tratamento de sementes, perdurando durante todo

o ciclo da cultura, onde frequentemente são realizadas misturas de inseticidas na calda de aplicação (GRAZZIERO, 2015). Portanto, os riscos dos inseticidas avaliados aumentam, uma vez que na realidade, a mesma população está enfrentando impactos cumulativos dos pesticidas durante o período de cultivo (BRÜHL; ZALLER, 2019).

Cabe frisar que as misturas em tanque de pulverização não eram legalizadas no Brasil até 2017. A regulamentação veio com a Instrução Normativa Nº 40, de 11 de outubro de 2018, onde o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), estabeleceu os critérios e procedimentos a serem adotados para recomendação de mistura em tanque de pulverização de pesticidas e afins (MAPA, 2018).

As aplicações múltiplas e sequenciais de pesticidas, podem causar efeitos mais graves em uma população de organismos não-alvo do que um único evento de aplicação. Wang, Zhu e Li (2019) indicaram que a co-exposição de vários pesticidas em ambientes naturais pode levar a graves danos aos polinizadores das culturas. Por isso, pesquisadores como Frazier et al. (2015) criticam a estimativa da toxicidade dos i.a. isoladamente, sem considerar outros ingredientes da formulação ou adjuvantes, muito usados nos tanques de pulverização, em situação real de campo.

Porém, essa análise individual se dá pela complexidade da dinâmica dos pesticidas no ambiente, e continua sendo usada enquanto há incertezas em relação às melhores abordagens para lidar com esses efeitos de 'coquetel' nos tanques de pulverização (LEWIS et al., 2016). Assim, para finalizar este trabalho, foi elaborado um quadro que além de apresentar o IRA, aborda também o alvo de cada inseticida, que pode auxiliar os profissionais técnicos das propriedades rurais na análise de risco dentro do manejo de lepidópteros praga nas principais commodities agrícolas do Mato Grosso (Quadro 3).

Dessa forma, esse IRA serviu como modelo preditivo para toxicidade animal e expôs o potencial de cada substância separadamente. A falta de dados das características físico-químicas dos inseticidas, adequadas à nossa condição local, pode ter afetado o resultado, pois todos os dados foram obtidos de regiões de clima temperado. Porém, com a necessidade de realizar avaliações de risco dos pesticidas, é comum países em desenvolvimento, como o Brasil, fazer uso de banco de dados internacionais como o PPDB, devido à falta de pesquisas locais e recursos limitados (LEWIS et al., 2016). Nesse sentido, o IRA dos inseticidas pode contribuir para evitar e prevenir riscos de contaminação no ambiente, uma vez que é possível analisar a toxicidade e a persistência de cada i.a.

Quadro 3. Índice de Risco Ambiental (IRA) dos insetidas mais comercializados em Mato Grosso para o controle de lepidópteros praga, com descrição do inseto alvo e da cultura.

Grupo químico	Inseticida	IRA	Cultura	Lepidóptero alvo**
ORGA ¹	Malationa	12	Algodão	<i>Alabama argilacea</i>
			Soja	<i>Anticarsia gemmatalis</i>
DIAC ⁸	Metoxifenoazida	11	Algodão	<i>A. argilacea</i> ; <i>Chloridea virescens</i> ; <i>Helicoverpa armigera</i> .
			Milho	<i>Spodoptera frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>Chrysodeixis includens</i> ; <i>H. armigera</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>Spodoptera eridania</i> .
ANTR ⁵	Clorantraniliprole	10	Algodão	<i>A. argilacea</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>H. armigera</i> ; <i>S. frugiperda</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>S. eridania</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>H. armigera</i> ; <i>C. includens</i> ; <i>Hedylepta indicata</i> ; <i>S. frugiperda</i> ; <i>Elasmopalpus lignosellus</i> .
DIAM ⁷	Flubendiamida	9	Algodão	<i>A. argillacea</i> ; <i>S. frugiperda</i> ; <i>S. eridania</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>H. armigera</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>C. includens</i> ; <i>S. frugiperda</i> ; <i>H. armigera</i> .
PIRE ³	Beta-ciflutrina	9	Algodão	<i>C. virescens</i> ; <i>Pectinophora gossypiella</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>C. includens</i> .
BENZ ⁶	Lufenurom	8	Algodão	<i>A. argillacea</i> ; <i>C. virescens</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i>
CARB ²	Metomil	8	Algodão	<i>A. argillacea</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>C. includens</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>C. includens</i> ; <i>S. frugiperda</i> ; <i>Epinotia aporema</i> ; <i>Agrotis ipsilon</i> .
PIRE ³	Bifentrina	8	Algodão	<i>A. argillacea</i> ; <i>H. armigera</i> ; <i>S. frugiperda</i> .
			Soja	<i>A. gemmatalis</i>
PIRE ³	Lambda-cialotrina	7	Algodão	<i>A. argillacea</i>
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i>
PIRE ³	Alfa-cipermetrina	7	Algodão	<i>A. argillacea</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>Pectinophora gossypiella</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>C. includens</i> .
ANTR ⁵	Ciantraniliprole	7	Algodão	<i>S. eridania</i>
			Soja	<i>C. includens</i> ; <i>A. gemmatalis</i> ; <i>H. armigera</i> .
PIRE ³	Permetrina	7	Algodão	<i>C. virescens</i> ; <i>P. gossypiella</i> ; <i>Trichoplusia ni</i> ; <i>A. argillacea</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i> ; <i>A. ipsilon</i> .
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>C. includens</i> .

Continua

Continuação

Grupo químico	Inseticida	IRA	Cultura	Lepidóptero alvo**
ANPI ⁴	Clorfenapir	7	Algodão	<i>H. armigera</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>S. frugiperda</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>H. armigera</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>C. includens</i> ; <i>S. frugiperda</i> .
ORGA ¹	Clorpirifós	7	Algodão	<i>A. argillacea</i>
			Milho	<i>S. frugiperda</i> ; <i>Mocis latipes</i> ; <i>E. Lignosellus</i> ; <i>A. ipsilon</i> .
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>E. aporema</i> .
ORGA ¹	Profenofós	7	Algodão	<i>C. virescens</i> ; <i>P. gossypiella</i> ; <i>A. argillacea</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i>
CARB ²	Tiodicarbe	7	Algodão	<i>S. frugiperda</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>H. armigera</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>C. includens</i> ; <i>H. armigera</i> .
OXA ¹⁰	Indoxacarbe	6	Algodão	<i>H. armigera</i> ; <i>P. gossypiella</i> ; <i>A. argillacea</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>S. frugiperda</i>
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>H. armigera</i> ; <i>S. frugiperda</i> ; <i>C. includens</i> .
PIRE ³	Zeta-cipermetrina	6	Algodão	<i>A. argillacea</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>S. frugiperda</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i> ; <i>Pseudaletia sequax</i> ; <i>H. armigera</i> .
PIRE ³	Cipermetrina	6	Algodão	<i>A. argillacea</i> ; <i>C. virescens</i> ; <i>P. gossypiella</i>
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>C. includens</i> .
BENZ ⁶	Diflubenzurom	6	Algodão	<i>A. argillacea</i> ; <i>S. frugiperda</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>C. includens</i> .
BENZ ⁶	Teflubenzurom	6	Algodão	<i>A. argillacea</i>
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>C. includens</i> ; <i>H. armigera</i> ; <i>S. frugiperda</i> .
ESPN ⁹	Espinectoram	6	Algodão	<i>H. armigera</i> .
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>C. virescens</i> ; <i>C. includens</i> ; <i>H. armigera</i> .
BENZ ⁶	Triflumurom	5	Algodão	<i>S. frugiperda</i>
			Milho	<i>S. frugiperda</i>
			Soja	<i>A. gemmatalis</i> ; <i>S. eridania</i> .
ORGA ¹	Acefato	5	Algodão	<i>H. armigera</i>
			Soja	<i>H. armigera</i> ; <i>A. gemmatalis</i>

Grupo químico: 1 - Organofosforado. 2 - Metilcarbamato. 3 - Piretróide. 4 - Análogo de Pirazol. 5 - Antranilamida. 6 - Benzoiluréia. 7 - Diamida. 8 - Diacilhidrazina. 9 - Espinosinas. 10 - Oxadiazina.

**Produtos comerciais de referência: Malationa (Malathion 100 EC); Metoxifenoza (Intrept 204 SC); Clorantiraniliprole (Premio); Flubendiamida (Belt); Beta-ciflutrina (Turbo); Lufenuron (Lufenuron Nortox 100 EC); Metomil (Metomil 215 SL Nortox); Bifentrina (Bifentrina 100 EC Nortox); Lambda-cialotrina (Brutus); Alfa-cipermetrina (Fastac 100 SC); Ciantraniliprole (Benevia); Permetrina (Fersol 384 EC); Clorfenapir (Clorfenapir Nortox); Clorpirifós (Clorpirifós Nortox EC); Profenofós (Polytrin); Tiodicarbe (Larvin 800 WG); Indoxacarbe (Avatar); Zeta-cipermetrina (Fury 200 EW); Cipermetrina (Cipermetrina Nortox 250 EC); Diflubenzurom (Diflubenzuron 240 SC Crop); Teflubenzurom (Nomolt); Espinectoram (Exalt); Triflumurom (Certero); Acefato (Perito 970 SG).

4 CONCLUSÃO

O IRA dos inseticidas forneceu subsídios básicos para evitar e prevenir riscos de contaminação, podendo auxiliar na gestão ambiental dos ingredientes ativos mais utilizados nos sistemas agrícolas matogrossense, pois a grande quantidade de inseticidas aplicada no estado gera preocupações em relação ao destino desses pesticidas. Portanto, espera-se que este trabalho contribua para uma melhor tomada de decisão, em relação ao uso de ingredientes ativos, que cause menor impacto, a partir do gerenciamento dos riscos, a fim de garantir a proteção aos organismos não-alvo, habitats nativos e recursos hídricos.

5 REFERÊNCIAS

- ABBADE NETO DO. 2021. Dinâmica da resistência a inseticidas diamidas em populações de *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) do Brasil. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba - SP, 82 p.
- AGROFIT - SISTEMA DE AGROTÓXICOS FITOSSANITÁRIOS. 2021. Ingredientes ativos. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 01 outubro 2021.
- ALFONSO LF, GERMÁN GV, MARÍA DEL CARMEN PC & HOSSEIN G. 2017. Adsorption of organophosphorus pesticides in tropical soils: the case of karst landscape of northwestern Yucatan. *Chemosphere* 166: 292-299.
- ALISTER C & KOGAN M. 2006. ERI: environmental risk index a simple proposal to select agrochemicals for agricultural use. *Crop Prot* 25: 202–211. 2006.
- ALISTE M, PÉREZ-LUCAS G, GARRIDO I, FENOLL J & NAVARRO S. 2021. Mobility of insecticide residues and main intermediates in a clay-loam soil, and impact of leachate components on their photocatalytic degradation. *Chemosphere* 247: 1-9.
- ANVISA - Agência Nacional De Vigilância Sanitária. 2011. Resolução – RDC nº 1, de 14 de janeiro de 2011. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/rdc0001_14_01_2011.html. Acesso em: 15 dezembro 2021.
- ARAÚJO WL. 2019. Toxicidade de inseticidas sobre abelhas sem ferrão. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 73 p.
- ARENA M & SGOLASTRA F. 2014. A meta-analysis comparing the sensitivity of bees to pesticides. *Ecotoxicology* 23: 324–334.
- BRÜHL CA & ZALLER JG. 2019. Biodiversity decline as a consequence of an inappropriate environmental risk assessment of pesticides. *Front Environ Sci* 7: 1-4.
- BUENO MR & CUNHA JPAR. 2020. Environmental risk for aquatic and terrestrial organisms associated with drift from pesticides used in soybean crops. *An Acad Bras Cien* 92: 1-16.
- BUSS N, RESTELATTO SS, CONTINI RE, BUENO AF, BERNARDI O, BOFF MIC & FRANCO CR. 2021. Comparative susceptibility of *Anticarsia gemmatilis* Hübner (Lepidoptera: Erebidæ) and *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidæ) to insecticides. *Ciêns Rural* 52(8): 1-6.
- CARVALHO SM, CARVALHO GA, CARVALHO CF, BUENO FILHO JSS & BAPTISTA APM. Toxicidade de acaricidas/inseticidas empregados na citricultura para a abelha africanizada *Apis Mellifera*. *Arq Inst Biol* 76(4): 597-606.

CTD - Comparative Toxicogenomics Database. 2021. Gene Interactions. Disponível em: <http://ctdbase.org/detail.go?type=chem&acc=C014655>. Acesso em: 15 dezembro 2021.

DE OLIVEIRA MF & BRIGHENTI AM. 2011. Comportamento dos herbicidas no ambiente. p. 263-304.

CODLING GAL, NAGGAR Y, GIESY JP & ROBERTSON AJ. 2016. Concentrations de inseticidas neonicotinóides em pólen de mel e abelhas (*Apis mellifera* L.) no centro de Saskatchewan, Canadá. Chemosphere 144: 2321–2328.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. 2021a. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Décimo segundo levantamento, setembro 2021 – safra 2020/21. Brasília: Conab, 2021b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 01 outubro 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. 2021b. Portal de Informações Agropecuárias. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 01 outubro 2021.

CHESSELLS M, HAWKER DW & CONNELL DW. 1991. Critical evaluation of the measurement of the 1-octanol/water partition coefficient of hydrophobic compounds, Chemosphere 22(12): 1175–1190.

GARLET CG. 2022. Genética da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) a clorpirifós e resistência cruzada com outros inseticidas. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 83 p.

HUYNH HPV & NUGEGODA D. 2012. Effects of clorpirifós exposure on growth and food utilization in Australian catfish, *Tandanus tandanus*. Bull Environ Contam Toxicol 88: 25–29.

CARLSON GR, DHADIALLA TS, HUNTER R, JANSSON RK, JANY CS, LIDERT Z & SLAWECKI RA. 2001. The chemical and biological properties of methoxyfenozide, a new insecticidal ecdysteroid agonist. Pest Manag Sci 57: 115-119.

CHAI LK, WONG MH, MOHD-TAHIR N & HANSEN HC. 2010. Degradation and mineralization kinetics of acephate in humid tropic soils of Malaysia. Chemosphere 79: 434–440.

CHEN Y, LIU X, DONG F, XU J, WU X & ZHENG Y. 2021. Characterization of the fate and distribution of methoxyfenozide in a water-plant-fish-sediment microcosm using a multimedia fugacity model. Sci Total Environ 755: 1-9.

CHRISTOFFOLETI PJ & LÓPEZ-OVEJERO RF. (Org.). 2008. Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba – SP, 90 p.

COMER J, CHAMBERLAIN K & EVANS A. 1995. Validation of pH-metric technique for measurement of pKa and log Pow of ionizable herbicides. SAR QSAR Environ Res 3(4): 307-313.

DAS SK & MUKHERJEE I. 2012. Effect of moisture and organic manure on persistence of flubendiamide in soil. *Bull Environ Contam Toxicol* 88(4): 515-520.

DAS SK, MUKHERJEE I & KUMAR A. 2015. Effect of soil type and organic manure on adsorption–desorption of flubendiamide. *Environ Monit Assess* 187(7): 1-11.

DAMALAS CA & ELEFTHEROHORINOS IG. 2011. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *Int J Env Res Pub He* 8: 1402-1419.

DEMIR AEA, DILEK FB & YETIS U. 2019. A new screening index for pesticides leachability to groundwater. *J Environ Manage* 231: 1193–1202.

DUCHOWICZ PR. 2019. QSPR studies on water solubility, octanol-water partition coefficient and vapour pressure of Pesticides. *Environ Res* 31(2): 135-148.

EFSA - European Food Safety Authority. ARENA M. et al. 2017. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance methoxyfenozide. *EFSA Journal* 15(9): 1-25.

ENG M, STUTCHBURY BJM & MORRISSEY CA. 2017. Imidacloprid and chlorpyrifos insecticides impair migratory ability in a seed-eating songbird. *Sci Rep* 7: 1-9.

ERNST F, et al. 2018. Occurrence of pesticide residues in fish from south American rainfed agroecosystems. *Sci Total Environ* 631(632): 169–179.

EPA - United States Environmental Protection Agency. 2021. Reregistration eligibility decision (red) thiodicarb. Disponível em: <https://swap.stanford.edu/20141016111933/http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/2675red.pdf>. Acesso em: 22 dezembro 2021.

FINE JD. 2020. Evaluation and comparison of the effects of three insect growth regulators on honey bee queen oviposition and egg eclosion. *Ecotoxicol Environ Saf* 205: 1-8.

FRAZIER MT, MULLIN CA, FRAZIER JL, ASHCRAFT SA, LESLIE TW, MUSSEN EC & DRUMMOND FA. 2015. Assessing honey bee (Hymenoptera: Apidae) foraging populations and the potential impact of pesticides on eight U.S. Crops. *J Econ Entomol* 108(5): 2141–2152.

GAVRILESCU M. 2005. Fate of pesticides in the environment and its bioremediation. *Eng Lite Sciv* 5(6): 497–526.

GOEL A, McCONNELL LL & TORRENTS A. 2007. Determination of vapor pressure-temperature relationships of current–use pesticides and transformation products. *J Environ Sci Health - B* 42(4): 343-349.

GOUDA AI, IMOROU TOKO I, IMOROU IDRISOU M, SPANOGHE P, SCIPPO ML, SIDI Z, DJAGBE T, KESTEMONT P & SCHIFFERS B. 2019. The transfer of insecticides used in cotton production to aquatic ecosystems in the cotton basin in

northern Benin. *Int J Sci Res Environ Sci Toxicol* 4(1): 1-15.

GUSTAFSON DI. 1989. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environ Toxicol Chem* 8: 339-357.

GRAZZIERO DLP. 2015. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. *Planta Daninha* 33(1): 83-92.

HE LM, TROIANO J, WANG A & GOH K. 2008. Environmental chemistry, ecotoxicity, and fate of lambda-cyhalothrin. In: Whitacre DM. (ed) *Reviews of environmental contamination and toxicology*, p. 71-91, 2008.

HAMADACHE M, BENKORTBI O, HANINI S & AMRANE A. 2018. QSAR modeling in ecotoxicological risk assessment: application to the prediction of acute contact toxicity of pesticides on bees (*Apis mellifera* L.). *Environ Sci Pollut Res* 25: 896–907.

HSDB - Hazardous Substances Data Bank. 2021. Evidence for carcinogenicity. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/hsdb/6549>. Acesso em: 15 dezembro 2021.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2021. Relatório anual. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/relatorios/quimicos-e-biologicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em: 01 outubro 2021.

IBRAHIM HM & AL-TURKI AM. 2020. Assessment of the environmental risk of pesticides leaching at the watershed scale under arid climatic conditions and low recharge rates. *Water* 12(418): 1-19.

INDEA - Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso. 2021. Relatório de comércio de agrotóxicos consolidado por ano. Disponível em: <http://www.indea.mt.gov.br/-/16980622-relatorio-de-comercio-de-agrotoxicos-consolidado-por-ano>. Acesso em: 05 novembro 2021.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2021. Banco de dados meteorológicos do INMET. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: 22 novembro 2021.

IRAC - Insecticide Resistance Action Committee. 2021. Mode of action classification scheme. Disponível em: https://docs.wixstatic.com/ugd/2bed6c_0942c97d407e4a5eaa83467af2f79d47.pdf. Acesso em 28 novembro 2021.

JEANGUENAT A. 2012. The story of a new insecticidal chemistry class: the diamides. *Pest Manag Sci* 69: 7-14.

KARANASIOS E, KARPOUZAS DG & TSIROPOULOS NG. 2012. Key parameters and practices controlling pesticide degradation efficiency of biobed substrates. *J Environ Sci Health B* 47(6): 589-598.

KÖPPEN W. 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. México:

Fundo de Cultura Economica, 478 p.

KULTHE UN, INGOLE RS, HEDAU MS, HAJARE SW & INGAWALE MV. 2018. Protective effect of *Andrographis paniculata* on haematobiochemical profile during clorpirifós induced subacute toxicity in japanese quails. J Pharmacogn Phytochem 7(1): 1150-1153.

LAHM GP, CORDOVA D & BARRY JD. 2009. New and selective ryanodine receptor activators for insect control. Bioorg Med Chem 17: 4127–4133.

LEWIS KA, TZILIVAKIS J, WARNER DJ & GREEN A. 2015. An international database for pesticide risk assessments and management. HERA is Hum Ecol Risk Assess 22(4): 1050-1064.

LI ZG, LI M, HUANG JN, MA CS, XIAO LC, HUANG G, ZHAO YZ, NIE HY & SU SK. 2017. Effects of sublethal concentrations of chlorpyrifos on olfactory learning and memory performances in two bee species, *Apis mellifera* and *Apis cerana*. Sociobiology 64(2): 174-181.

LIN Z, PANG S, ZHANG W, MISHRA S, BHATT P & CHEN S. 2020. Degradation of acephate and its intermediate methamidophos: mechanisms and biochemical pathways. Front Microbiol 18: 1-18.

MAHMOOD I, IMADI SR, SHAZADI K, GUL A & HAKEEM KR. 2016. Effects of pesticides on environment. In: HAKEEM KR, et al. (Eds.), Plant, Soil and Microbes. Switzerland: Springer International Publishing, 253-269 p.

MARIYADASU P & KUMARI PK. 2017. Histopathological changes in the gill, liver, and kidney of the fish *Labeo rohita* (Hamilton) exposed to thiodicarb 75% wp. Bull Pure Appl Sci 36(2): 102-116.

MAPA - Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2018. Instrução Normativa nº 40, de 11 de outubro de 2018. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/201812/07172824-instrucao-normativa-n-40-de-11-de-outubro-de-2018-regras-complementares-a-receita-agronomica-1.pdf>. Acesso em: 4 junho 2022.

MENG SL, et al. 2016. Responses and recovery pattern of sex steroid hormones in testis of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to sublethal concentration of metomil. Ecotoxicology 25: 1805–1811.

MERCADO-BORRAYO BM, HEYDRICH SC, PÉREZ IR, QUIROZ MH & HILL CPL. 2015. Organophosphorus and organochlorine pesticides bioaccumulation by eichhornia crassipes in irrigation canals in an urban agricultural system. Int J Phytoremediation 17(7): 701-708

MORAWSKA K, CIESIELSKI W & SMARZEWSKA S. 2021. First electroanalytical studies of methoxyfenozide and its interactions with dsDNA. J Electroanal Chem 882: 1-7.

MORAES RF. 2019. Agrotóxicos no Brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. Texto para discussão 2506, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2019. Disponível em: http://www.aenda.org.br/wp-content/uploads/2020/09/cir1060-anexo-ipea_politica-de-agrotoxicos-no-brasil.pdf. Acesso em: 22 junho 2022.

MOSQUERA-VIVAS CS, et al. 2016. The effect of the soil properties on adsorption, single-point desorption, and degradation of chlorpyrifos in two agricultural soil profiles from Colombia. *Soil Sci* 181(9): 446-456.

MOXON M, STRUPP C, AGGARWAL M, ODUM J, LEWIS R, ZEDET S & MEHTA J. 2020. An analysis of the setting of the acute reference dose (ARfD) for pesticides in Europe. *Regul Toxicol Pharmacol* 113: 1-11.

MUKHERJEE I, DAS SK & KUMAR A. 2016. Degradation of flubendiamide as affected by elevated CO₂, temperature, and carbon mineralization rate in soil. *Environ Sci Pollut Res* 23(19): 19931-19939.

MUGGELBERG LL, HARTZ KEH, NUTILE SA, HARWOOD AD, HEIM JR, DERBY AP, WESTON DP & LYDY MJ. 2016. Do pyrethroid-resistant *Hyalella azteca* have greater bioaccumulation potential compared to non-resistant populations? implications for bioaccumulation in fish. *Environ Pollut* 220: 375-382.

ONWONA-KWAKYE M, HOGARH JN & BRINK PJV. 2020. Environmental risk assessment of pesticides currently applied in Ghana. *Chemosphere* 254: 1-12.

PAULA DM. 2021. Técnicas para evitar a deriva e volatilização de herbicidas. In: LA TORRE, K. A. P. de. (Org.). *Desenvolvimento sustentável, interdisciplinaridade e ciências ambientais 2*. Ponta Grossa: Atena, 89-116 p.

PIGNATI WA, LIMA FANS, DE LARA SS, CORREA MLM, BARBOSA JR, LEÃO LHC & PIGNATTI MG. 2017. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a vigilância em saúde. *Ciênc saúde colet* 22(10): 3281-3293.

PINHEIRO JN & FREITAS BM. 2010. Efeitos letais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros. *Oecologia Australis* 14(1): 266-281.

PIASAROLO L, RIGITANO RLO & GUERREIRO MC. 2008. Influência da polaridade de pesticidas não-iônicos sobre sua sorção em um latossolo. *Cien Agrotec* 32: 1802-1809.

PHUNG DT, CONNELL D & CHU C. 2015. A new method for setting guidelines to protect human health from agricultural exposure by using chlorpyrifos as an example. *Ann Agric Environ Med* 22(2): 275–280.

RAJ J, CHANDRA M, DOGRA TD, PAHUJA M & RAINA A. 2013. Determination of median lethal dose of combination of endosulfan and cypermethrin in wistar rat. *Toxicol Int* 20(1): 1-6.

RÄMÖ RA, VAN DEN BRINK PJ, RUEPERT C, CASTILLO LE & GUNNARSSON JS. 2016. Environmental risk assessment of pesticides in the River Madre de Dios, Costa Rica using PERPEST, SSD, and msPAF models. *Environ Sci Pollut Res* 25: 13254–13269.

REDMOND CT & POTTER DA. 2017. Chlorantraniliprole: reduced-risk insecticide for controlling insect pests of woody ornamentals with low hazard to bees. *Arboric Urban For* 43(6): 242–256.

RIBEIRO ML, LOURENCETTI C, PEREIRA SY & MARCHI MRR. 2007. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. *Quim Nova* 30(3): 688–694.

ROSSI AS, FANTÓN N, MICHLIG MP, REPETTI MR & CAZENAVE J. 2020. Fish inhabiting rice fields: bioaccumulation, oxidative stress and neurotoxic effects after pesticides application. *Ecol Indic* 113: 1–10.

SABIK H, JEANNOT R & RONDEAU B. 2000. Multiresidue methods using solid-phase extraction techniques for monitoring priority pesticides, including triazines and degradation products, in ground and surface waters. *J Chromatogr* 885: 217–236.

SABRA FSS & MEHANA EE. 2015. Pesticides toxicity in fish with particular reference to insecticides. *Asian J Agric Sci* 3(1): 40–60.

SADEGH-ZADEH F, WAHID SA & JALILI B. 2017. Sorption, degradation and leaching of pesticides in soils amended with organic matter: a review. *Adv Environ Technol* 2: 119–132.

SÁNCHEZ-BAYO F. 2011. Impacts of agricultural pesticides on terrestrial ecosystems. In: SÁNCHEZ-BAYO F, VAN DEN BINK PJ & MANN RM. (Eds.). *Ecological impacts of toxic chemicals*, Online eBook: Bentham Science Publishers, 63–87 p.

SÁNCHEZ-BAYO F & TENNEKES HA. 2015. Environmental risk assessment of agrochemicals - A critical appraisal of current approaches. *Toxicity and hazard of agrochemicals*, 39 p.

SANTOS VS, OLIVEIRA OJ, MOREIRA MAA & LORANDI R. 2006. Análise e espacialização das perdas médias de solo por erosão hídrica laminar na bacia hidrográfica do Tenente Amaral em Jaciara, Mato Grosso, Brasil. *Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, Embrapa Informática Agropecuária/INPE*, 247–256 p.

SELBY TP, LAHM GP & STEVENSON TM. 2016. A retrospective look at anthranilic diamide insecticides: discovery and lead optimization to chlorantraniliprole and cyantraniliprole. *Pest Manag Sci* 73(4): 658–665.

SELBY TP, LAHM GP, STEVENSON TM, HUGHES KA, CORDOVA D, ANNAN IB, BARRY JD, BENNER EA, CURRIE MJ & PAHUTSKI TF. 2013. Discovery of cyantraniliprole, a potent and selective anthranilic diamide ryanodine receptor activator with cross-spectrum insecticidal activity. *Bioorg Med Chem Lett* 23(23): 6341–

6345

ŞİMŞEK Z. 2021. Mısır gutasyon sıvısında thiamethoxam ve cyantraniliprole kalıntısı ve arılara toksik etkisinin belirlenmesi. Dissertação de Mestrado. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 51 p.

SUN R, LIU C, ZHANG H & WANG Q. 2015. Benzoylurea chitin synthesis inhibitors. *J Agric Food Chem* 63: 6847–6865.

SPADOTTO CA. 2002. Screening method for assessing pesticide leaching potential. *R Ecotoxicol e Meio Ambiente* 12: 69-78.

STEHLE S & SCHULZ R. 2015. Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. *PNAS Early Edition* 112(18): 1-6.

STRASSEMAYER J, DAEHMLow D, DOMINIC AR, LORENZ S & GOLLA B. 2017. SYNOPSIS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. *J Crop Prot* 97: 28-44.

SOARES DF, FARIA AM & ROSA AH. 2017. Análise de risco de contaminação de águas subterrâneas por resíduos de agrotóxicos no município de Campo Novo do Parecis (MT), Brasil. *Eng Sanit Ambient* 22(2): 277-284.

SOTO-MANCERA F, ARELLANO J & ALBENDÍN M. 2020. Carboxylesterase in *sparus aurata*: characterisation and sensitivity to organophosphorus pesticides and pharmaceutical products. *Ecol Indicators* 109: 1-9.

TROCZKA BJ, RICHARDSON E, HOMEM RA & DAVIES TGE. 2018. An analysis of variability in genome organisation of intracellular calcium release channels across insect orders. *Gene* 670: 70–86.

ULLAH R, ZUBERI A, NAIM M & ULLAH S. 2015. Toxicity to hematology and morphology of liver brain and gills during acute exposure of Mahseer (*Tor putitora*) to cypermethrin. *Int J Agric Biol* 17(1): 1-7.

ULLAH S, LI Z, ZUBERI A, ARIFEN MZU & BAIG MMFA. 2019. Biomarkers of pyrethroid toxicity in fish. *Environ Chem Lett* 17(2): 945-973.

URIÓSTEGUI-ACOSTA M, HERNÁNDEZ-OCHOA I, SÁNCHEZ-GUTIÉRREZ M, PIÑA-GUZMÁN B, RAFAEL-VÁZQUEZ L, SOLÍS-HEREDIA MJ & QUINTANILLA-VEGA, B. 2014. Methamidophos alters sperm function and DNA at different stages of spermatogenesis in mice. *Toxicol Appl Pharmacol* 279: 391–400.

USDA - Agricultural Research Service. 2021. The ARS pesticide properties database. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-barc/beltsville-agricultural-research-center/adaptive-cropping-systems-laboratory/docs/ppd/pesticide-properties-database/>. Acesso em: 10 setembro 2021.

VAN SCOY AR, YUE M, DENG X & TJEERDEMA RS. 2013. Environmental fate and toxicology of metomil. In: WHITACRE D, et al. (Eds.). *Reviews of Environmental*

Contamination and Toxicology, New York: Springer, 93-106 p.

WANG D & ZHANG K. 2017. Determination of the dissipation dynamics and residue behaviors of chlorantraniliprole in sugarcane and soil by LC–MS/MS. *Environ Monit Assess* 189: 1-8.

WANG Y, ZHU YC & LI W. 2019. Comparative examination on synergistic toxicities of chlorpyrifos, acephate, or tetraconazole mixed with pyrethroid insecticides to honeybees (*Apis mellifera* L.). *Environ Sci Pollut Res* 27: 6971–6980.

WANG X, LI Z, ZHANG H, XU J, QI P, XU H, WANG Q & WANG W. 2013. Environmental behavior of the chiral organophosphorus insecticide acephate and its chiral metabolite methamidophos: enantioselective transformation and degradation in soils. *Environ Sci Technol* 47: 9233–9240.

WILLIAMS JR, SWALEB DR & ANDERSONA TD. 2020. Comparative effects of technical-grade and formulated chlorantraniliprole to the survivorship and locomotor activity of the honeybee, *Apis mellifera* (L.). *Pest Manag Sci* 76: 2582–2588.

YANG C, LIM W & SONG G. 2021. Immunotoxicological effects of insecticides in exposed fishes. *Comp Biochem Physiol Part - C: Toxicol Pharmacol* 247: 1-13.

YEN JH, LIN KH & WANG YS. 2000. Potential of the insecticides acephate and methamidophos to contaminate groundwater. *Ecotoxicol Environ Saf* 45: 79-86.

ZSEE – Zoneamento Socioeconômico Ecológico De Mato Grosso. 2018. Revisão do ZSEE-MT 2018. Caderno 2, estudo ambiental. Secretaria de Estado de Planejamento de Mato Grosso. Disponível em: <http://www.seplag.mt.gov.br/index.php?pg=ver&id=5604&c=117&sub=true>. Acesso em: 22 abril 2022.

ARTIGO 2

Uso de feromônio sexual como estratégia sustentável para o manejo de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

[International Journal of Pest Management]

RESUMO: *Spodoptera frugiperda* é uma das pragas mais destrutivas dos sistemas agrícolas. E o uso de feromônios vem como uma estratégia sustentável no manejo desta praga. Portanto, nosso objetivo foi avaliar a eficiência de formulações do feromônio sexual de *S. frugiperda* nas culturas da soja, milho e algodão. O delineamento foi 5x5, sendo duas formulações (F1 e F2), uma formulação comercial (FC), um controle negativo (CN) e um positivo com fêmeas virgens (CP), realizando 5 repetições. Foram utilizadas armadilhas Delta, com tapetes adesivos e septo de borracha impregnado com as diferentes composições, sendo avaliadas semanalmente. Para as análises foram realizados testes de normalidade e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott (5%). Os melhores resultados foram na F1 na soja e milho (fase vegetativa), com médias de captura de 26,86 e 28,90, respectivamente. Já na fase reprodutiva do milho, assim como no algodão, as formulações (F1 e F2) não conseguiram ser competitiva em relação ao CP. Em tese, a F1 foi promissora para o monitoramento em soja e milho (fase vegetativa), uma vez que proporcionaram média estatisticamente igual ao CP. Porém, novos ajustes, quanto à persistência dos compostos devem ser realizados, visando otimizar a eficiência em campo dessas formulações.

Palavras-chave: Semioquímico, Manejo Integrado de Pragas, Lagarta-do-cartucho.

**Use of sexual pheromone as a sustainable strategy for the management of
Spodoptera frugiperda (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)**

[International Journal of Pest Management]

ABSTRACT: *Spodoptera frugiperda* is one of the most destructive pests of agricultural systems. And the use of pheromones comes as a sustainable strategy in the management of this pest. Therefore, our objective was to evaluate the efficiency of *S. frugiperda* sex pheromone formulations in soybean, corn and cotton crops. The design was 5x5, with two formulations (F1 and F2), a commercial formulation (CF), a negative control (NC) and a positive one with virgin females (PC), performing 5 repetitions. Delta traps were used, with adhesive mats and rubber septum impregnated with the different compositions, being evaluated weekly. For the analyses, normality tests were performed and the averages compared using the Scott-Knott test (5%). The best results were in F1 in soybean and corn (vegetative phase), with capture averages of 26.86 and 28.90, respectively. In the reproductive phase of corn, as well as cotton, the formulations (F1 and F2) were not able to be competitive in relation to PC. In theory, F1 was promising for monitoring soybean and corn (vegetative phase) since it provided a mean statistically equal to the PC. However, new adjustments regarding the persistence of the compounds must be carried out, aiming to optimize the field efficiency of these formulations.

Keywords: Semiochemical, Integrated Pest Management, Fall Armyworm

1.INTRODUÇÃO

Spodoptera frugiperda (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma das pragas agrícolas mais importante das Américas, disseminada para outros continentes como a Europa, África e Ásia (GOERGEN et al., 2016; DEOLE, PAUL. 2018; SISAY et al., 2018; HUANG, 2021). Seu caráter polífago possibilita esta praga atacar 353 espécies de plantas diferentes, o que proporciona refúgio em hospedeiros alternativos durante o período de entressafra (MONTEZANO et al., 2018).

As lagartas se alimentam de folhas, caules e partes reprodutivas das plantas hospedeiras (COCK et al., 2017) e a gravidade dos danos dependem da idade da planta e do tipo de cultura (HELLWIG et al., 2017). Os maiores prejuízos tem sido registrado na cultura do milho, sendo o principal problema para produção na América Latina (BLANCO et al., 2016). Quando não realizado o manejo adequado desta praga, as perdas na produção atingiram 67% na Zâmbia e 58% em Moçambique (DAY et al., 2017; CHIMWETA et al., 2019). Como seu controle é baseado, principalmente, no uso de inseticidas químicos e plantas que expressam toxinas de *Bacillus thuringiensis* (Bt), vários casos de resistência tem sido registrado para essas táticas, o que tem gerado grande ameaça dentro do manejo integrado de praga (KAISER, 2021).

Dessa forma, a busca por métodos de manejo mais eficientes e de baixo impacto no ambiente é imprescindível para o controle da *S. frugiperda*. Nessa perspectiva, o uso de feromônios se destacam como uma estratégia sustentável, pois podem atuar no monitoramento e no controle de pragas, sendo altamente específico e seguro ao ambiente (PETKEVICIUS, LÖFSTEDT, BORODINA, 2020). Eles são usados na comunicação intraespecífica dos insetos e se dividem de acordo com a função que exercem sobre os indivíduos. Nas mariposas predomina o feromônio sexual que é liberado pela fêmea e provocam a atração dos machos para o acasalamento (BLASSIOLI-MORAES et al., 2019; ALISON, CARDÉ, 2016). Esses compostos feromonais são extraídos das fêmeas, sendo identificados e sintetizados para aplicação no campo, seja para monitoramento ou controle.

Dessa maneira, armadilhas iscadas com o feromônio sexual (simulando as substâncias feromonais das fêmeas) podem atrair machos e serem usadas para medir os níveis populacionais da praga, permitindo o monitoramento em campos agrícolas, ajudando a decidir quando e onde aplicar táticas de manejo diretas contra a praga (ALISON, CARDÉ, 2016). Além da estratégia de monitoramento, os feromônios

podem ser usados para captura em massa, interrupção do acasalamento e para a técnica do atrai-e-mata (ZARBIN, RODRIGUES, LIMA, 2009; ALISON, CARDÉ, 2016; SHARMA, SANDHI, REDDY, 2019). Sendo a disrupção do acasalamento uma forma de controle que tem reduzido com sucesso a quantidade de pesticidas em pomares de maçã (LO et al., 2013).

Porém, o feromônio de *S. frugiperda* possui variações que dependem principalmente da localização geográfica (UNBEHEND et al., 2013), o que faz com que formulações usadas em um país não tenha a mesma eficiência quando usada em outro (ANDRADE; RODRIGUEZ; OEHLISCHLAGER, 2000). Lima e McNeil (2009), encontraram os acetatos Z9-14: OAc, Z11-16: OAc e Z7-12: OAc, como os principais constituintes do feromônio das fêmeas de *S. frugiperda* (cepa de milho e arroz), na Louisiana (EUA), apontando diferenças significativas na concentração e proporção desses compostos em relação à idade da fêmea e tipo de cepa. Em contrapartida, Haenniger et al. (2020), identificaram proporções semelhantes nas cepas de milho e arroz oriundas de Benin e Nigéria, onde cerca de 97% do feromônio foi composto pelo Z9-14: OAc, 2% pelo Z7-12: OAc e 1% por Z9-12: OAc, não sendo encontrada diferenças na comunicação sexual entre as cepas.

Dessa forma, considerando a problemática da *S. frugiperda* na produção agrícola e a variabilidade na composição do feromônio desta praga é importante identificar a formulação feromonal mais eficiente para o seu manejo no estado de Mato Grosso. Portanto, objetivo desta pesquisa foi avaliar formulações sintéticas do feromônio sexual de *S. frugiperda* nas culturas da soja, milho e algodão, durante a safra de 2020/21, a fim de otimizar um feromônio sexual para o monitoramento das populações locais dessa praga.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local

A criação dos insetos foi desenvolvida no laboratório de Entomologia localizado no Centro de Pesquisa, Ensino e Desenvolvimento Agroambiental (CPEDA) da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus de Tangará da Serra - MT. A identificação e a síntese das formulações de feromônios sintéticos foram realizadas em parceria com o Laboratório de Química de Recursos Naturais (LPqRN) da Universidade Federal de Alagoas, em Maceió – AL.

Os experimentos de campo foram conduzidos em duas propriedades rurais: Latitude 14°38'01.8"S, Longitude 57°38'14.0"O, localizada às margens da Rodovia MT 358; e outra na Latitude 14°37'31.8"S, Longitude 57°18'17.1"O, situada no Distrito de Joaquim do Boche, ambas pertencentes ao território de Tangará da Serra – MT. O município possui duas estações bem definidas, uma seca, de maio a setembro, e outra chuvosa, de outubro a abril, com precipitação média de 1.830 mm (DALLACORT et al., 2011).

2.2 Criação de *Spodoptera frugiperda*

A criação de *S. frugiperda* foi obtida de posturas e lagartas coletadas em lavouras de soja, milho e algodão e alimentadas em dieta artificial à base de feijão e vitaminas desenvolvida por Greene et al. (1976), sob condições controladas de temperatura $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $70\% \pm 10\%$ de umidade relativa.

Ao atingir a fase de pupa, estas foram sexadas com o auxílio de lupa e separadas em recipientes plásticos revestidos com papel toalha até a emergência dos adultos. As mariposas foram colocadas em gaiola cilíndrica de PVC (40 cm x 20 cm), revestidas internamente com papel sulfite que serviu como substrato de oviposição. Já a abertura superior foi fechada com tecido tipo *voil*, preso por um elástico, enquanto que a extremidade inferior foi tampada com prato de acrílico, contendo papel toalha e um recipiente com algodão hidrófilo embebido em solução de mel a 10% e o outro com água.

As gaiolas foram inspecionadas três vezes por semana, trocando o revestimento, cobertura e alimentação. Após a oviposição das mariposas no papel

sulfite, os ovos foram acondicionados em potes, onde permaneceram até a eclosão. As lagartas neonatas foram individualizadas e inoculadas em tubos de ensaio (2,5 cm de diâmetro e 7 cm de altura) com dieta artificial, para alimentação e tamponados com algodão.

2.3 Composição das formulações

As formulações testadas em campo para *S. frugiperda* foram elaboradas conforme dados existentes na literatura e disponíveis na *Pherobase* (plataforma de dados de feromônio e semioquímicos) (El-SAYED, 2021). Entre os compostos utilizados para testes de captura de machos estão os acetatos: cis-9-tetradecenila (Z9-14: OAc); cis-7-dodecenila (Z7-12: OAc); cis-11-hexadecenila (Z11-16: OAc); cis-9-dodecenila (Z9-12: OAc); e os aldeídos: cis-11-hexadecenal (Z11-16: Ald) e cis-9-hexadecenal (Z9-16: Ald).

Essas substâncias foram preparadas reunindo os compostos para obter as concentrações ajustadas para cada formulação, as quais foram previamente determinadas. Para a formulação 1, foram pesadas alíquotas (massas) dos compostos acetato de Z9-14: OAc, acetato de Z11-16: OAc e acetato de Z7-12: OAc, correspondentes às quantidades necessárias para obter as respectivas concentrações de 76%, 19% e 5%. Em seguida, os compostos foram reunidos em um recipiente e adicionado um volume de hexano (grau HPLC) para obter uma solução de concentração total de 9 mg/mL dos componentes da mistura. O mesmo procedimento foi empregado no preparo da formulação 2, mas com composição e proporção diferente (Quadro 1).

Após esta etapa os feromônios foram incorporados aos septos por meio da adição de volumes determinados das soluções para a transferência de 6000 µg da mistura feromonal. Em seguida, os septos foram submetidos à evaporação do solvente (hexano) em condição ambiente e, ao final desta etapa, os mesmos foram encaminhados para os testes de campo. O quadro a seguir mostra as formulações experimentais e as proporções de cada composto testado nas culturas da soja, milho e algodão, assim como os demais tratamentos: controle positivo, com fêmeas virgens (CP), controle negativo com hexano (CN) e formulação comercial (FC) (Quadro 1).

Quadro 1. Formulações e concentrações das misturas feromonais testadas para atração de machos de *S. frugiperda*.

Cultura	Tratamentos				
	Formulação (F1*)	Formulação (F2*)	Formulação Comercial (FC)	Controles	
				Positivo(CP)	Negativo(CN)
Soja (<i>Glycine max</i>)	Z9-14: OAc (76%) Z11-16: OAc(19%) Z7-12: OAc (5%)	Z9-14: OAc (38%) Z11-16:OAc (9,5%) Z7-12: OAc (2,5%) Z11-16: Ald(48,5%) Z9-16: Ald (1,5%)	Isca Tecnologia®	Fêmeas virgens	Hexano
Milho (<i>Zea mays</i>)	Z9-14: OAc(76%) Z11-16: OAc(19%) Z7-12: OAc (5%)	Z9-14: OAc(75,5%) Z11-16:OAc(18,5%) Z7-12: OAc (5%) Z9-12: OAc (1%)	Isca Tecnologia®	Fêmeas virgens	Hexano
Algodão (<i>Gossypium hirsutum</i>)	Z9-14: OAc (76%) Z11-16: OAc(19%) Z7-12: OAc (5%)	Z9-14: OAc (75,5%) Z11-16:OAc(18,5%) Z7-12: OAc (5%) Z9-12: OAc (1%)	Isca Tecnologia®	Fêmeas virgens	Hexano

*As formulações 1 e 2 continham 6000 µg em cada mistura, sendo incorporado 5% do antioxidante α -tocoferol.

Os experimentos nas culturas do milho e algodão tiveram a segunda formulação experimental (F2) alterada, passando de cinco para quatro componentes, sendo retirado o Z9-16: Ald (1,5%), com intuito de verificar se a ausência desse composto influenciaria na atratividade da formulação. Já a F1 continuou sendo a mesma com Z9-14: OAc (76%) + Z11-16: OAc (19%) + Z7-12: OAc (5%) em todos os testes à campo.

2.4 Experimentos de campo

Os experimentos de campo foram conduzidos na safra 2020/21 nas culturas de soja, milho e algodão. O delineamento foi em quadrado latino para os experimentos de soja, milho (fase vegetativa) e algodão. Para avaliação das formulações na fase reprodutiva do milho foi utilizado blocos casualizados. Foram utilizados 5 tratamentos, com 5 repetições, sendo duas formulações experimentais (F1 e F2), uma formulação comercial (FC) e os controles positivo e negativo (Quadro 1).

As armadilhas foram montadas na altura do dossel da planta, com auxílio de estacas em formato de “L” invertido, para as culturas da soja, algodão e milho. As avaliações ocorreram na fase reprodutiva para todas as culturas, sendo que no milho foi avaliado, também, a fase vegetativa.

Foram utilizadas armadilhas do tipo Delta, de cor branca de formato triangular medindo 15 x 10 x 28 cm, com tapete adesivo inserido na base da armadilha e o septo de borracha introduzido no centro do referido tapete. As armadilhas foram dispostas, no mínimo 50 m da bordadura do talhão, distanciadas uma da outra por 100 m em todas as culturas, diferenciando somente a distância entre as parcelas. As avaliações ocorreram semanalmente, juntamente com a troca dos tapetes e a aleatorização dos tratamentos na área.

Na cultura da soja as instalações das armadilhas ocorreram no dia 30 de dezembro de 2020, localizadas sob as coordenadas 14°40'44.11" S e 57°37'42.90" O. Com área útil avaliada de 60 hectares de soja convencional (cultivar Biogene 4668), que se encontrava na fase reprodutiva R5.1 (início da formação de grãos). As avaliações ocorreram entre os dias 06 a 19 de janeiro de 2021 (Figura 1.A).

Na cultura do algodão as avaliações ocorreram do dia 08 de março a 16 de junho de 2021, localizadas sob as coordenadas 14°41'47.3" S e 57 °36'15.2" O, em talhão de 107 hectares de área útil com algodão convencional (cultivar FM 944 GL), sendo instalada as armadilhas na fase reprodutiva B1 (primeiro botão floral do 1º ramo frutífero) (Figura 1.B.)

No milho ,o experimento foi dividido em duas fases, sendo a primeira no estágio vegetativo V4 (quarta folha totalmente expandida) (Figura 1.C) e a segunda no estágio reprodutivo R1 (embonecamento) (Figura 1.D). Na primeira etapa as avaliações ocorreram do dia 26 de março a 14 de abril de 2021, enquanto que na segunda etapa as avaliações foram de 29 de abril a 18 de junho de 2021. Ambas foram realizados em talhão de 55 hectares com a cultivar de milho NS 50 PRO.

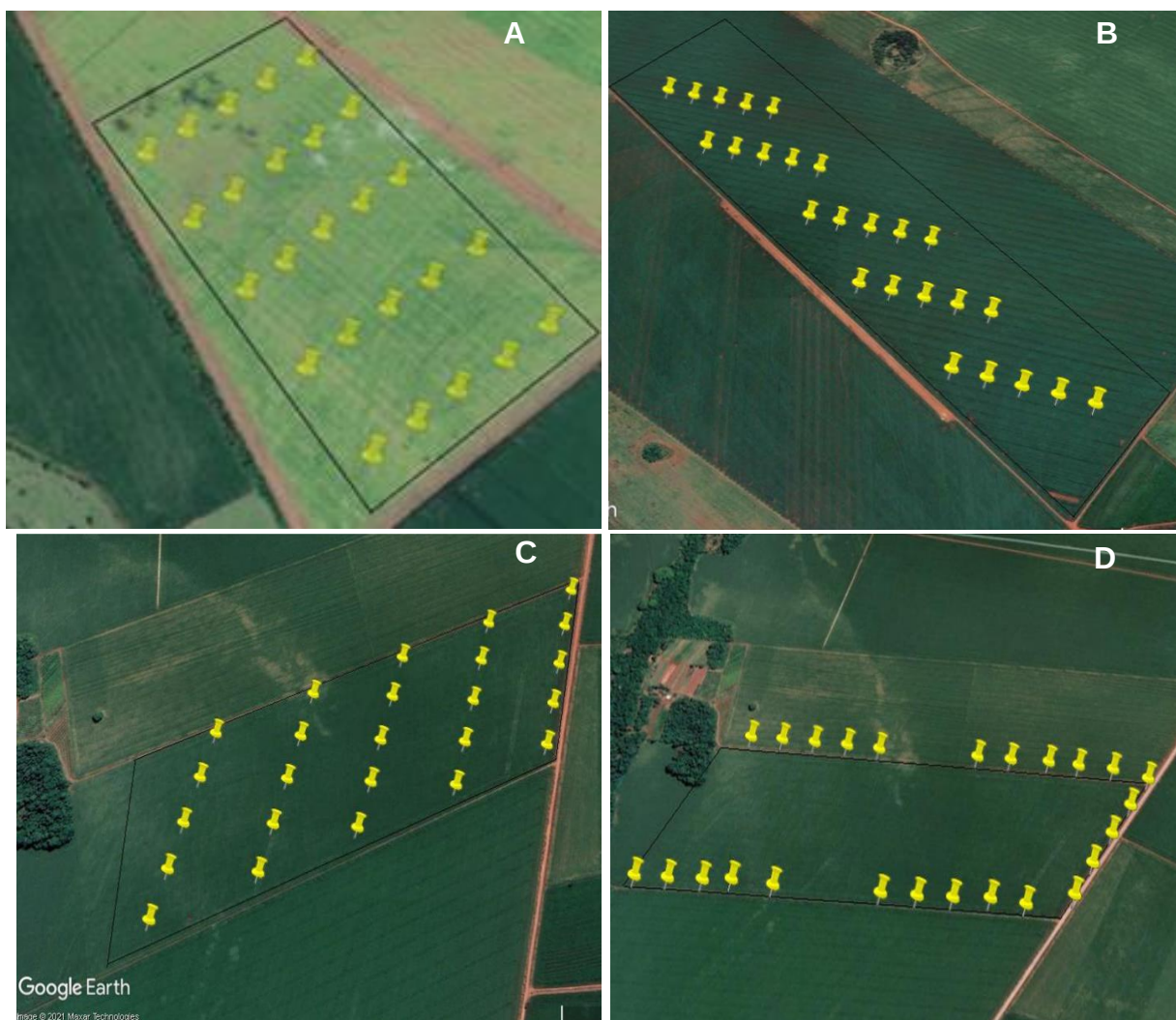


Figura 1. Mapa com a distribuição das armadilhas nas áreas, durante a safra 2020/21. **A.** Cultura da soja, localizado à 14°40'44.11" S e 57°37'42.90" O; **B.** Cultura do algodão à 14°41'47.3" S e 57°36'15.2" O; **C.** Cultura do milho na fase vegetativa à 14°37'31.8"S, 57°18'17.1"O; **D.** Cultura do milho fase reprodutiva à 14°37'31.8"S, 57°18'17.1"O. Fonte: Imagem (Google Earth).

Foram realizadas também amostragens tradicionais. Na cultura da soja a avaliação foi por meio do pano de batida, método desenvolvido por Boyer e Dumas (1963), no qual as plantas são sacudidas vigorosamente sobre o pano (1 m de comprimento x 1,5 m de largura) para que ocorra a queda das lagartas, sendo estas contabilizadas e ajustadas para unidades por metro linear (Figura 1A). Esse procedimento foi repetido em 10 pontos dentro do talhão, monitorando nas entre linhas das armadilhas que teve distância máxima de 200 m.

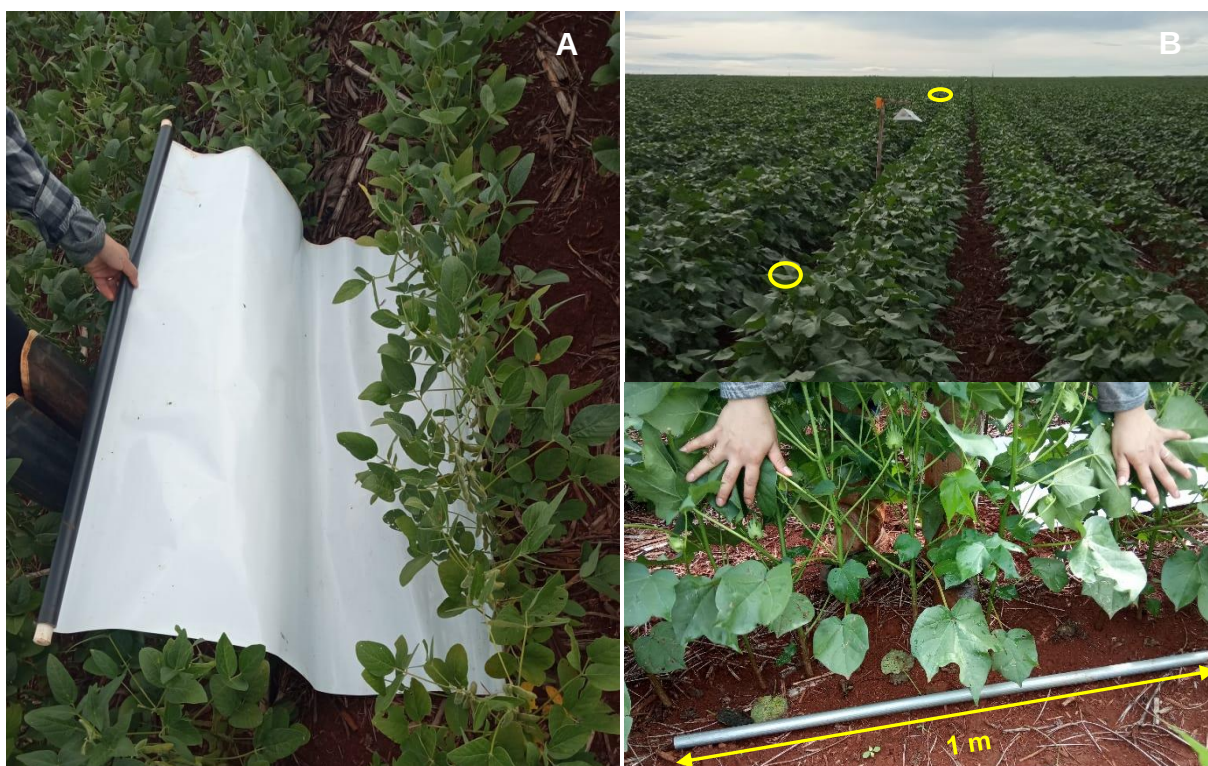


Figura 2. A- Amostragem pelo método de pano de batida na cultura da soja. B- Amostragem por metro linear na cultura do algodão com representação de pontos de avaliação.

Os níveis de controle empregados para os principais lepidópteros-praga da soja estão representados na Tabela 1, e foram considerados para o monitoramento de lagartas na cultura da soja (GRIGOLLI, 2015).

Tabela 1. Níveis de controle para os principais lepidópteros-praga na cultura da soja, níveis estabelecidos com número de insetos por metro.

Praga	Nível de controle
Lagartas desfolhadoras (<i>Anticarsia gemmatalis</i> e <i>Chrysodeixis includens</i>)	20 lagartas maiores do que 1,5 cm
Lagarta-das-vagens (<i>Spodoptera</i> spp.)	10 lagartas por metro
Lagartas do grupo Heliothinae (<i>Chloridea</i> (= <i>Heliothis</i>) <i>virescens</i> e <i>Helicoverpa</i> spp.)	4 lagartas por metro na fase vegetativa ou 2 lagartas por metro na fase reprodutiva

Fonte: Adaptada de Grigolli (2015).

Para a cultura do algodão a amostragem e nível de controle (Tabela 2) foi adaptada da metodologia de Miranda (2010), onde inspeciona-se a planta procurando ataque nas folhas, nos botões florais ou flores da parte mediana da planta, buscando

verificar a presença dos insetos ou os sinais de ataque. Foi realizada a avaliação por metro linear, em 5 pontos nas linhas das armadilhas (Figura 2-B).

Tabela 2. Níveis de controle para os principais lepidópteros-praga na cultura do algodão.

Praga	Nível de controle
<i>Spodoptera frugiperda</i>	10% de ataque
<i>Chloridea virescens</i>	13% de ataque

Fonte: Miranda (2010).

Na cultura do milho foi analisado o dano ocasionado pela fase larval da *S. frugiperda*, visando relacionar com o número de adultos capturados nas armadilhas. Para isso, foi utilizada a escala de Davis (1992), adaptada por Fernandes et al. (2003), aplicada somente na fase vegetativa, que atribui notas que variam de 0 a 9 para os danos de *S. frugiperda* no milho (Quadro 2). A partir dessa escala, tem-se como referência para nível de controle a proporção de 20% das plantas com ataque ≥ 3 .

Quadro 2. Escala de notas (0 a 9) para avaliação de danos de *Spodoptera frugiperda* no milho adaptada de Davis et al. (1992) por Fernandes et al. (2003).

Notas	Descrição
0	Planta sem danos.
1	Planta com pontuações (mais que uma pontuação por planta).
2	Planta com pontuações; 1 a 3 lesões circulares pequenas (até 1,5 cm).
3	Planta com 1 a 5 lesões circulares pequenas (até 1,5 cm); mais 1 a 3 lesões alongadas (até 1,5 cm).
4	Planta com 1 a 5 lesões circulares pequenas (até 1,5 cm); mais 1 a 3 lesões alongadas (maiores que 1,5 cm e menores que 3 cm).
5	Planta com 1 a 3 lesões circulares alongadas grandes (maior que 3 cm) em 1 ou 2 folhas; mais 1 a 5 furos ou lesões alongadas até 1,5 cm.
6	Planta com 1 a 3 lesões circulares alongadas grandes (maior que 3 cm) em 2 ou mais folhas; mais 1 a 3 furos grandes (maior que 1,5 cm), em 2 ou mais folhas.
7	Planta com 1 a 5 lesões circulares alongadas grandes (maior que 3,5 cm) em 2 ou mais folhas; mais 3 a 5 furos grandes (maior que 1,5 cm) em 2 ou mais folhas.
8	Planta com muitas lesões alongadas (mais que 5) de todos os tamanhos na maioria das folhas. Muitos furos médios e grandes (mais que 5) maiores que 3 cm em muitas folhas.
9	Plantas com muitas folhas, na quase totalidade, destruídas.

Fonte: Fernandes et al. (2003).

O caminhamento para o monitoramento foi em zigue-zague (Figura 3) tomando-se uma distância de aproximadamente 20 m das linhas onde estavam dispostas as

armadilhas, sendo avaliados 5 pontos por linha. Em cada ponto foram avaliadas 4 plantas, com total de 100 plantas por semana.



Figura 3. Forma de caminhamento em zigue-zague para os pontos de amostragem na cultura do milho na fase vegetativa.

2.6 Análises estatísticas

Para as análises foram realizados, em primeiro momento, testes de normalidade Shapiro-Wilk (5%), posteriormente, os dados foram submetidos ao teste Kruskal-Wallis (5%) e os valores comparados pelo teste de Scott-Knott. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa R Studio v.3.5.1, utilizando o pacote Scott Knott (R CORE TEAM, 2020).

3 RESULTADOS

3.1. Avaliação das formulações do feromônio sexual de *Spodoptera frugiperda* na cultura da soja

Foram coletadas 1.804 mariposas de *S. frugiperda*, destas, 99,2% eram de machos e 0,8% fêmeas. A F1 e F2 diferiram estatisticamente da formulação comercial (FC) ($p < 0,5$). As médias de captura dos machos foram de 41,53; 26,53 e 20,33 mariposas/armadilha/semana para FC, F1 e F2, respectivamente. As formulações experimentais não diferiram do controle positivo (fêmeas virgens) e este apresentou uma média de captura de 30,4 mariposas/armadilha/semana. Já no controle negativo (hexano), foi coletado 0,57 mariposa/armadilha/semana, diferindo significativamente dos outros tratamentos (Figura 4).

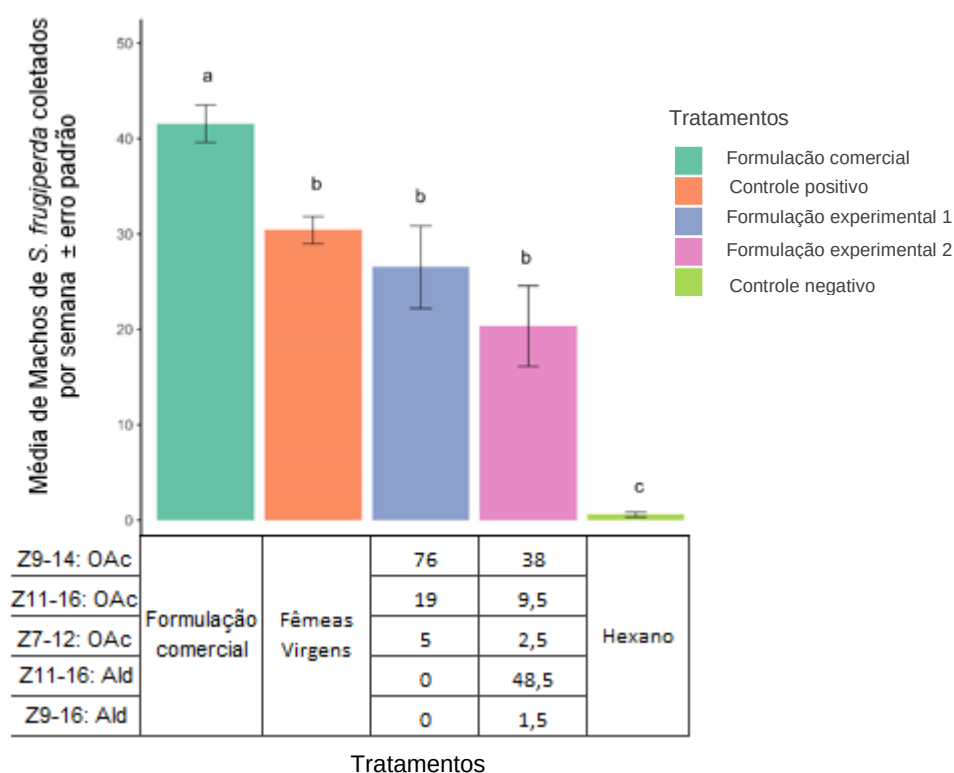


Figura 4. Médias $\pm$ erro padrão de machos de *Spodoptera frugiperda* coletados na cultura da soja, cultivar Biogene 4668. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Na primeira semana de avaliação as formulações experimentais (F1 e F2) coletaram poucas mariposas, diferindo estatisticamente da FC e do CP com fêmeas virgens. Na semana seguinte a F1 se equiparou às fêmeas virgens, no entanto a F2 apresentou a menor taxa de captura. Na última semana houve um incremento na coleta de mariposas nas formulações F2 e F1, sendo que estas não diferiram

estatisticamente da fêmea virgem e da FC (Figura 5).

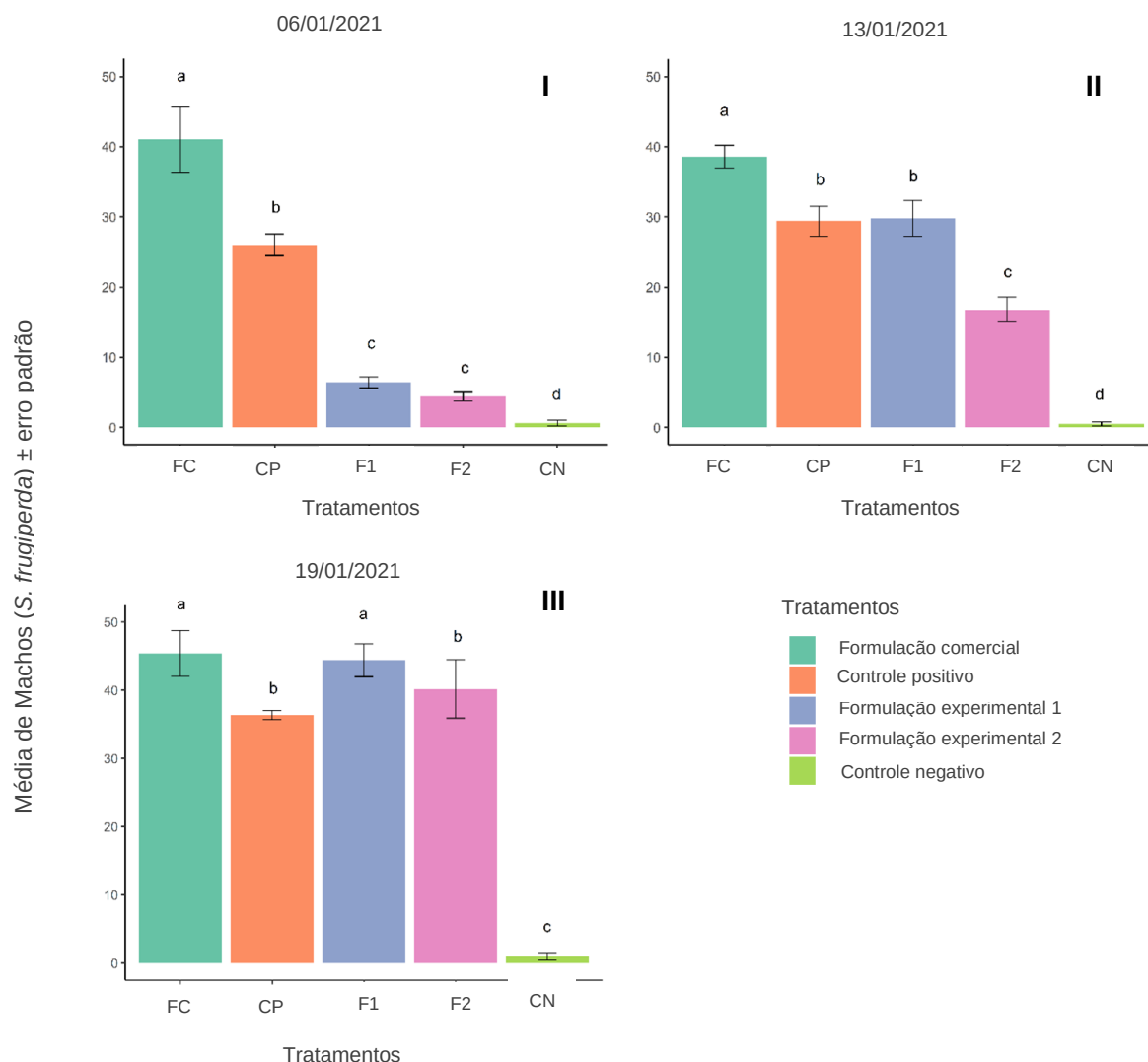


Figura 5. Média das análises semanais de *Spodoptera frugiperda* (± erro padrão, capturadas na cultura da soja). Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). Os números (I, II e III) do canto superior esquerdo representam a sequência das semanas de avaliação.

Antes da instalação das armadilhas no campo, foram registras pulverizações com o inseticida clorantraniliprole (antranilamida) para o controle do complexo de lepidópteros-praga (aplicação em 07/12/2020) e uma mistura de acefato (organofosforado) + Vírus AcMNPV (microbiológico), recomendado para *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) e *S. eridania* (Lepidoptera: Noctuidae) (aplicação em 16/12/2020). Vale ressaltar que o acefato foi utilizado visando o controle de *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera: Noctuidae) e *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae).

Após a instalação das armadilhas as aplicações ocorreram nos dias 13 e 16/01/2021 com imidacloprido (neonicotinóide+piretróide) para o controle do complexo de percevejos, *A. gemmatilis* e *Bemisia tabaci* raça B (Hemiptera, Aleyrodidae). Mesmo com as aplicações de inseticidas as formulações 1 e 2, inclusive as fêmeas virgens, proporcionaram aumento na média de captura após a primeira e segunda aplicação. Somente a FC registrou uma leve queda após a primeira aplicação, mas ainda com média de coleta alta, próximo a 40 mariposas/armadilha/semana.

Quanto às amostragens realizadas por meio do pano-de-batida, o número de lagartas registradas não atingiram o nível de controle. O estágio R3 (09/12/20), por exemplo, apresentou o número mais expressivo, com total de 6 lagartas (entre grandes e pequenas) de *S. frugiperda*. Porém, a densidade populacional foi de apenas 0,4 lagarta por m. Nas avaliações seguintes os números foram de 0,26 (*S. frugiperda*) no dia 15/12/20, 0,33 (*S. frugiperda*) no dia 22/12/20, 0,06 (*Helicoverpa* sp.) no dia 30/12/20, 0,13 (*S. frugiperda* e *Chrysodeixis includens*) no dia 06/01/21 e 0,06 lagarta por m (*Chrysodeixis includens*) no dia 13/01/21.

3.2 Avaliação das formulações do feromônio sexual de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho

3.2.1 Fase vegetativa

Nessa fase foram coletadas 2.272 mariposas de *S. frugiperda*, sendo 99,9% machos e 0,1% fêmea. Não houve diferença estatística entre as formulações avaliadas (F1, F2 e FC), inclusive para o controle com fêmeas virgens ($p>0,5$). A média de captura variou de 25 a 30 mariposas/armadilha/semana. Como era esperado, o controle com o hexano coletou um número extremamente baixo de mariposas (Figura 6).

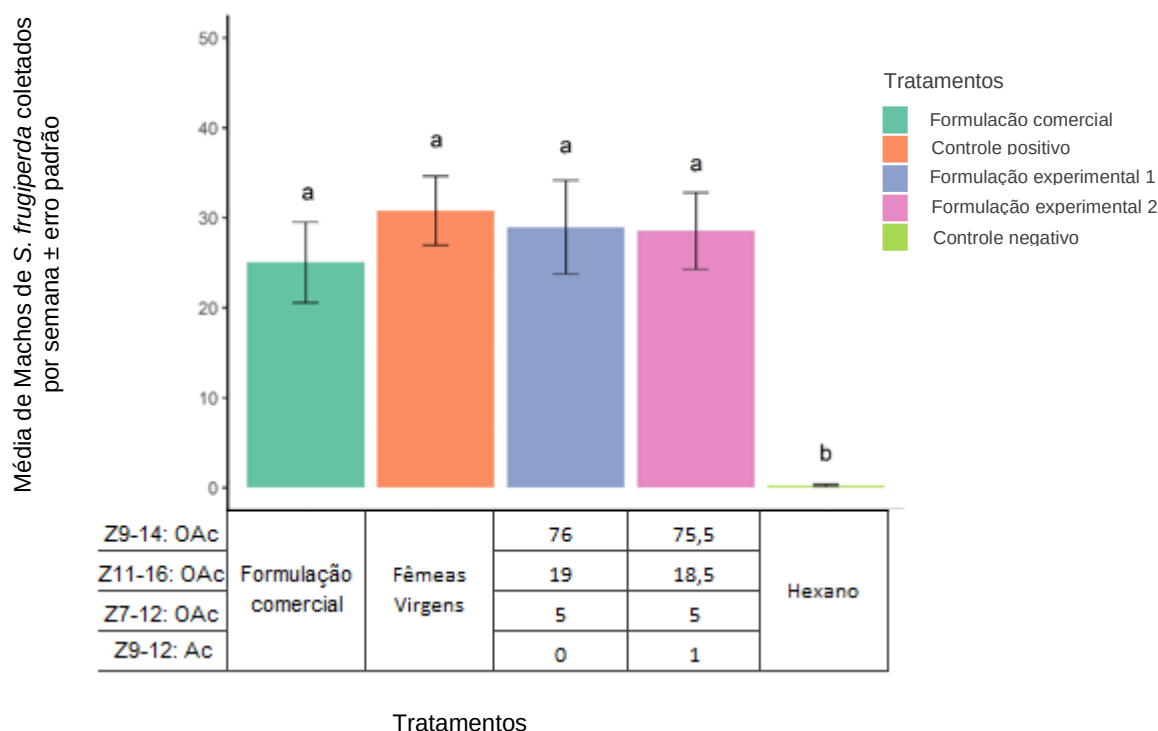


Figura 6. Média de machos de *Spodoptera frugiperda* ($\pm$) erro padrão, capturadas na fase vegetativa do milho, cultivar NS 50 PRO. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste Scott-Knott.

Nas análises semanais, as médias de captura de mariposas foram mais expressivas a partir da segunda avaliação, com cerca de 40 machos coletados nas três formulações testadas, superior a média das iscas com fêmeas virgens. O pico de coleta ocorreu na semana seguinte, com as formulações experimentais tendo seu melhor desempenho, com as formulações capturando média de 50,2 e 46,4 machos/armadilha na F2 e F1, respectivamente (Figura 7). Na quarta avaliação houve uma drástica redução na captura de mariposas, em todas as formulações testadas, com destaque para a FC que não diferiu estatisticamente do controle negativo (Figura 7). Vale salientar que a fêmea virgem manteve a captura, com média de 31,2 machos/armadilha.

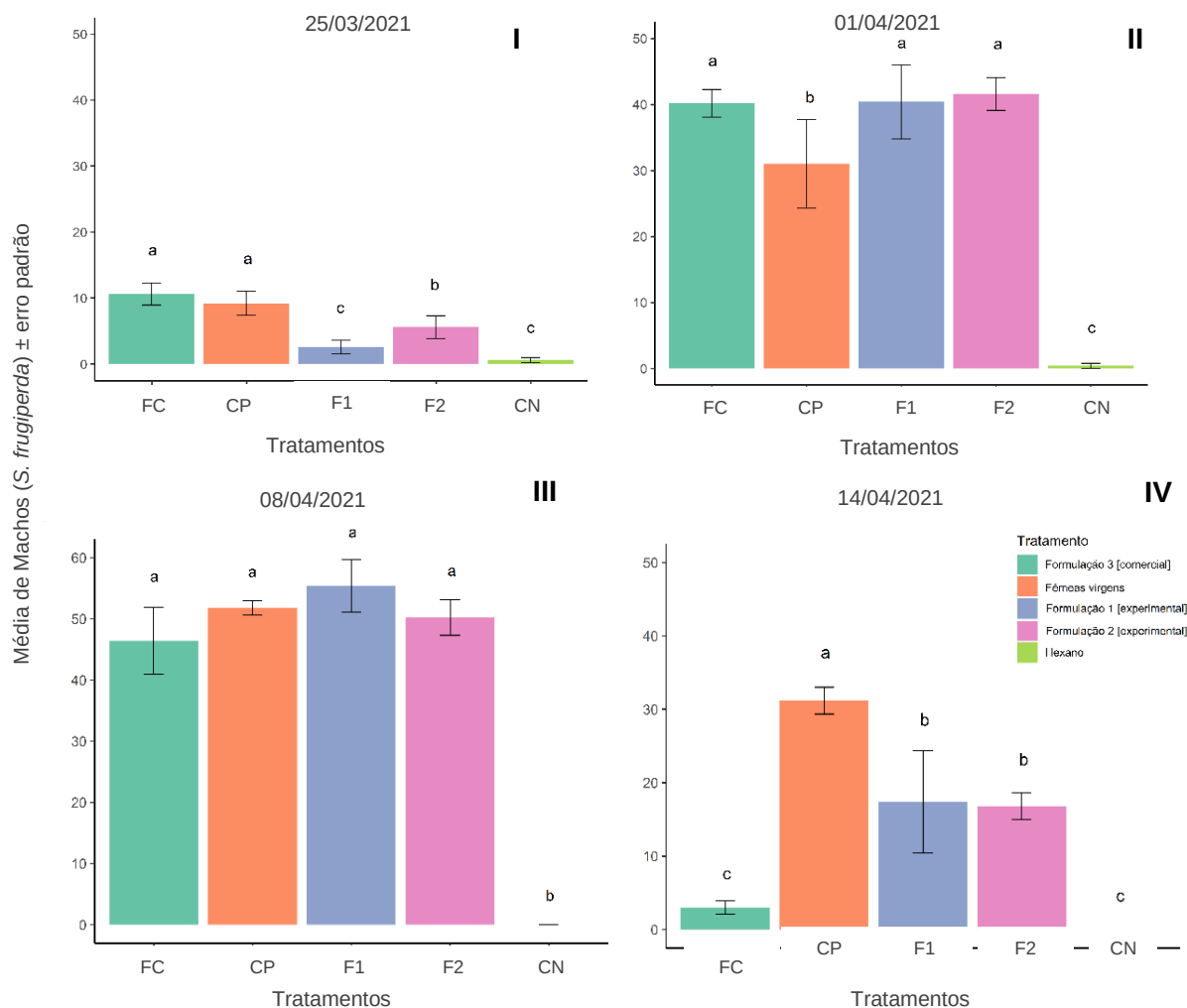


Figura 7. Média das análises semanais de *Spodoptera frugiperda* ($\pm$) erro padrão, capturadas na fase vegetativa do milho. Letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). Os números (I, II, III e IV) do canto superior esquerdo representam a sequência das semanas de avaliação.

Na amostragem de lagartas, os estádios V3 e V4 não atingiram o nível de controle para *S. frugiperda*. Já a partir do estágio V6 (sexta folha totalmente expandida) (01/04/2021), atingiu o nível de controle, com 21% das plantas com danos ≥ 3 . No intervalo entre uma avaliação e outra as plantas atingiram o estágio V8 (oitava folha totalmente expandida) (08/04/2021) com 56% do cartucho com várias lesões irregulares e folhas completamente comidas (nota 8).

Durante as avaliações ocorreram duas aplicações de inseticidas, sendo de clorpirifós (organofosforado) + teflubenzuron (benzoiluréias) com foco no controle de *S. frugiperda*, realizadas no dia 25/03/2021. Esta aplicação não refletiu em impacto expressivo na captura de machos, pois nas duas semanas subsequentes a média de captura permaneceram altas (Figura 7).

3.2.2 Fase reprodutiva

Durante a fase reprodutiva do milho foram realizadas oito avaliações, com total de 2.647 mariposas de *S. frugiperda*, sendo 98,9% machos e 1,1% fêmeas. Houve diferença estatística nas médias de F1 e F2 em relação às CP (controle positivo) e a FC (formulação comercial) ($p < 0,5$). Sendo a média de captura de machos de 10,32 e 12,66 para F1 e F2, respectivamente, e 20,31 para FC. O CP (fêmeas virgens) e controle negativo (CN) coletaram em média de 23,32 e 0,12, nesta ordem (Figura 8).

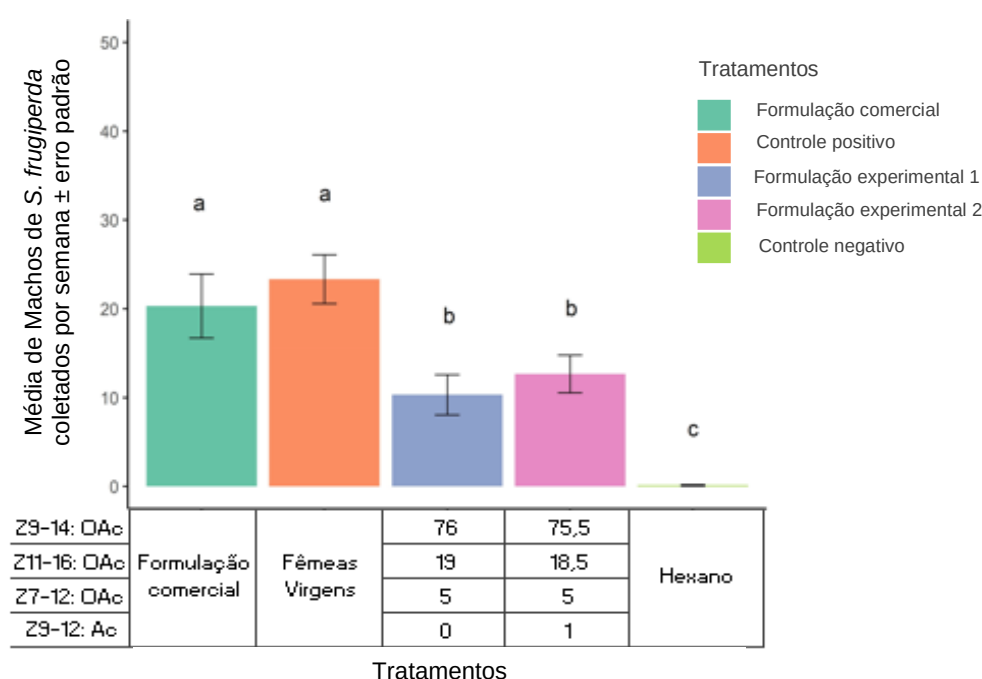
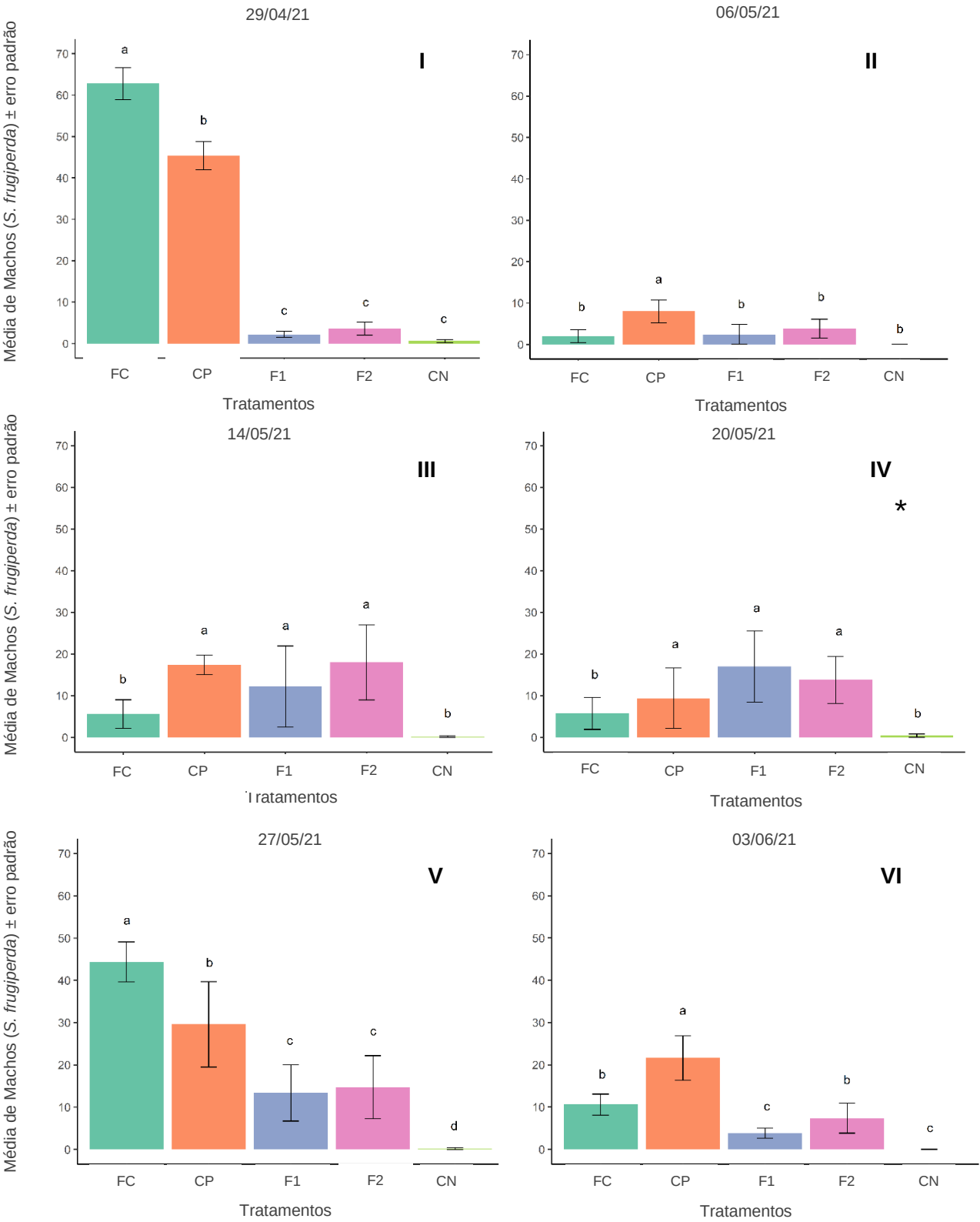


Figura 8. Média de machos de *Spodoptera frugiperda* ($\pm$) erro padrão, capturadas na fase reprodutiva do milho, cultivar NS 50 PRO. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste Scott-Knott.

Na análise semanal as formulações experimentais (F1 e F2), proporcionaram resultados diferentes aos obtidos na fase vegetativa. Na primeira e segunda avaliação não diferiram estatisticamente do CN. Já na terceira e quarta não diferiram do CP, enquanto que na quinta semana as formulações (F1 e F2) diferiram estatisticamente do CP e da FC. Na sexta semana a F2 não diferiu da FC, apresentando diferença estatística em relação ao CP e CN. Já a F1 não diferiu estatisticamente do CN. Na sétima semana todas as formulações e o CP diferiram estatisticamente do CN, com maior captura na formulação comercial e fêmea virgem. Na última semana de avaliação as formulações experimentais não diferiram estatisticamente entre si, com

destaque para o CP que coletou em média 34 mariposas/armadilha, ao passo que a FC não diferiu do CN (Figura 9).



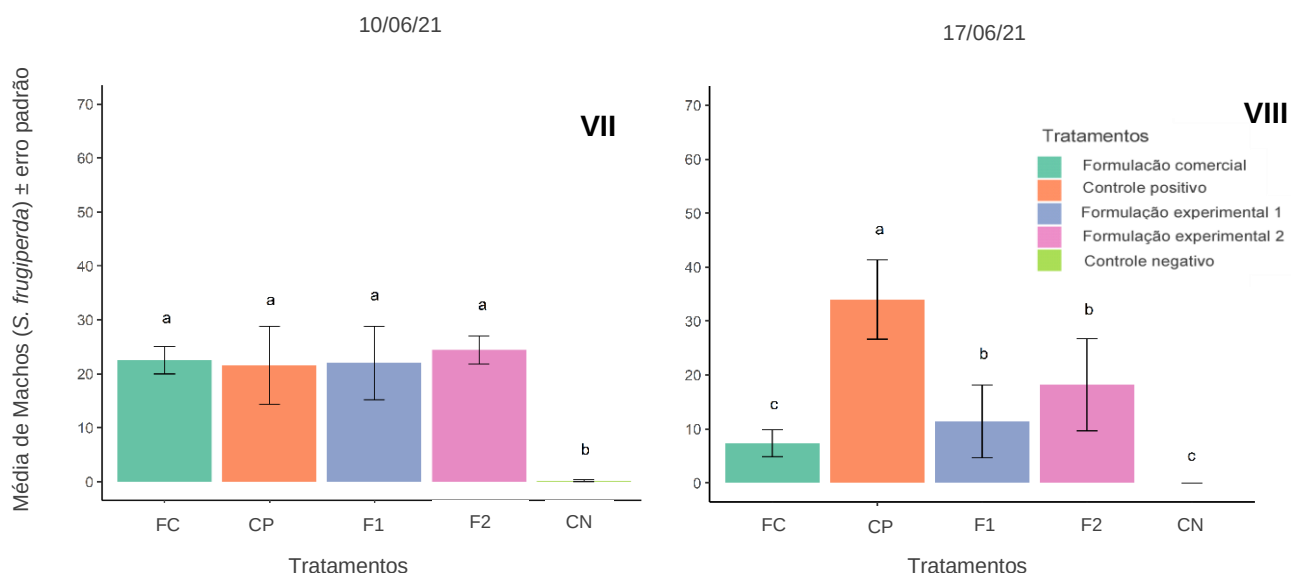


Figura 9. Média das análises semanais de *Spodoptera frugiperda* ($\pm$) erro padrão, capturadas na fase reprodutiva do milho. Letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). * Refere-se a troca de septos. Os números (I, II, III, IV, V, VI, VII e VIII) do canto superior esquerdo representam a sequência das semanas de avaliação.

3.3. Avaliação das formulações do feromônio sexual de *Spodoptera frugiperda* na cultura do algodão

Foram realizadas quinze avaliações, que coletaram 3.617 mariposas de *S. frugiperda*, destas, 99,8% foram de machos e 0,2% de fêmeas. Em relação aos machos, as formulações experimentais F1 e F2 não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,5$), mas diferiram da formulação comercial (FC), do controle positivo (CP) e do controle negativo (CN) ($p < 0,5$), com média de captura de 6,95, 6,89, 16,27, 19,60 e 0,22, respectivamente (Figura 10).

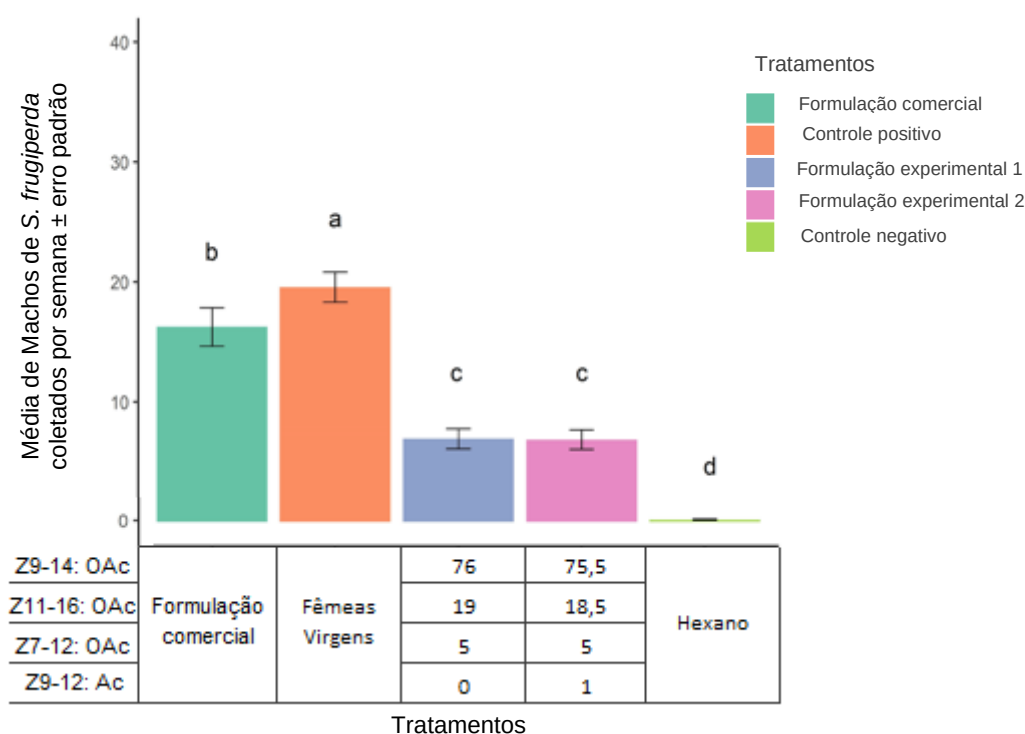
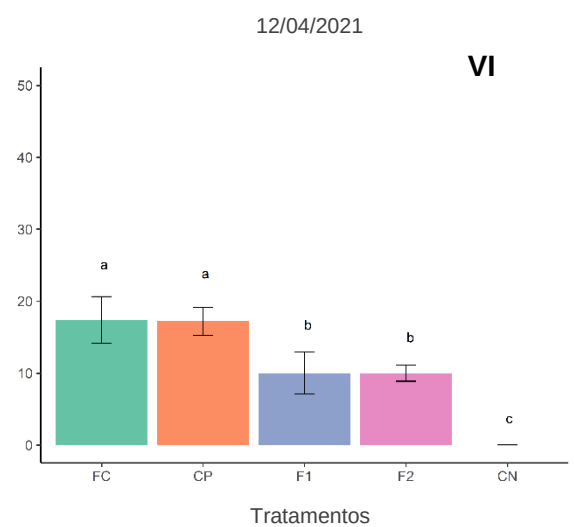
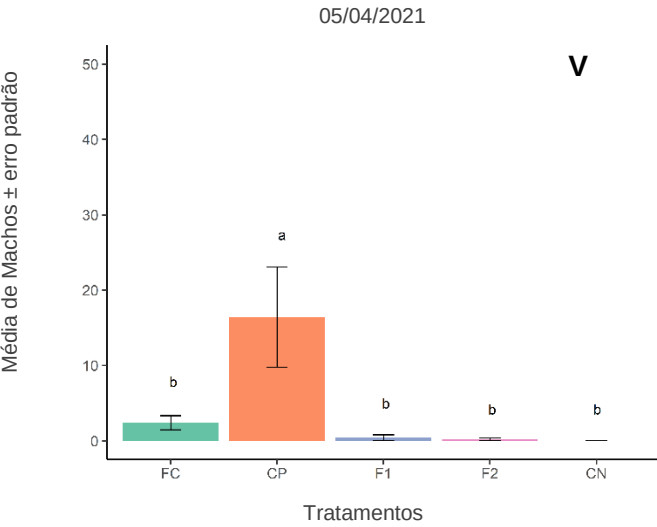
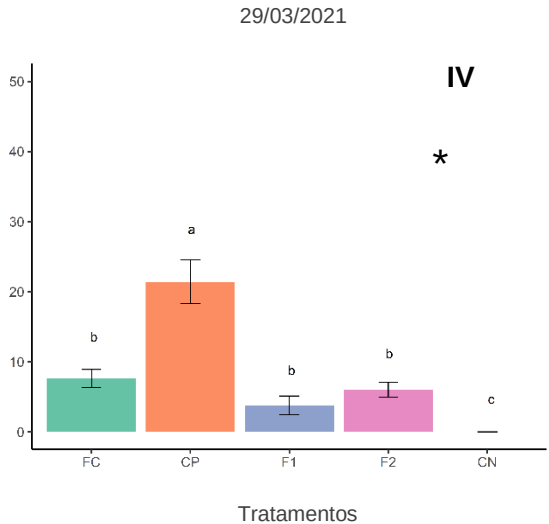
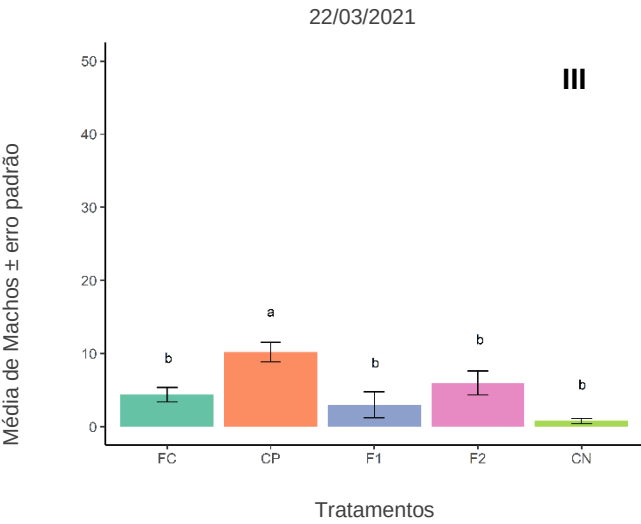
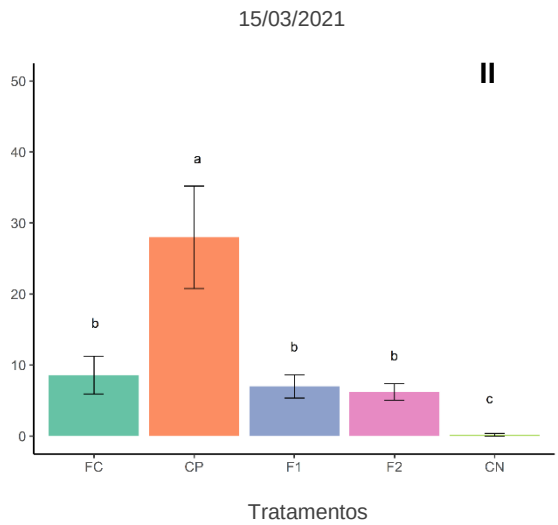
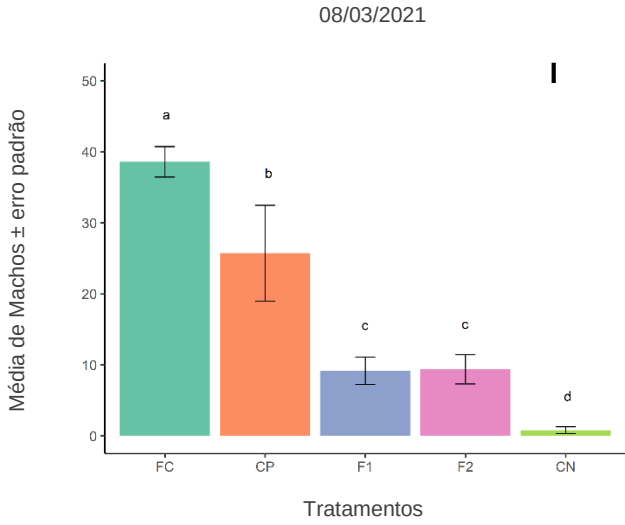
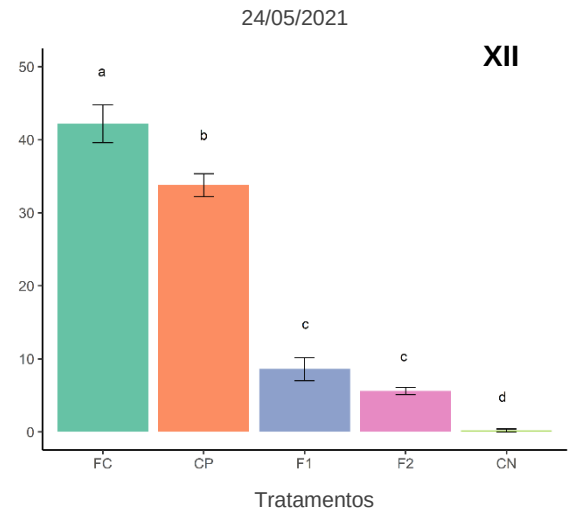
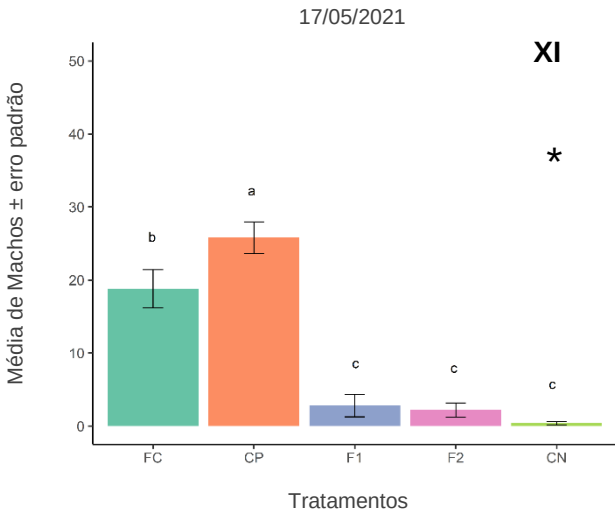
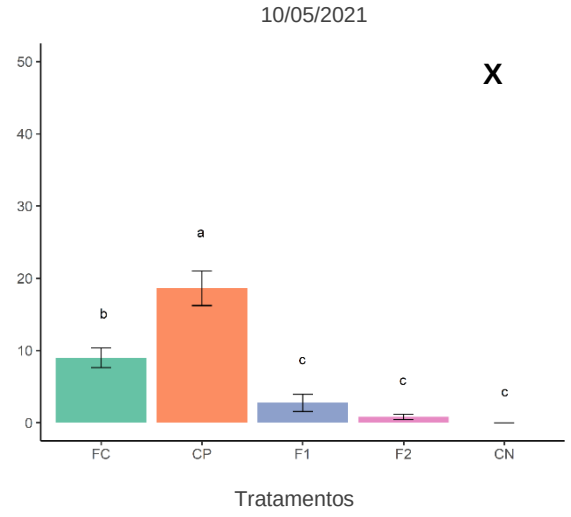
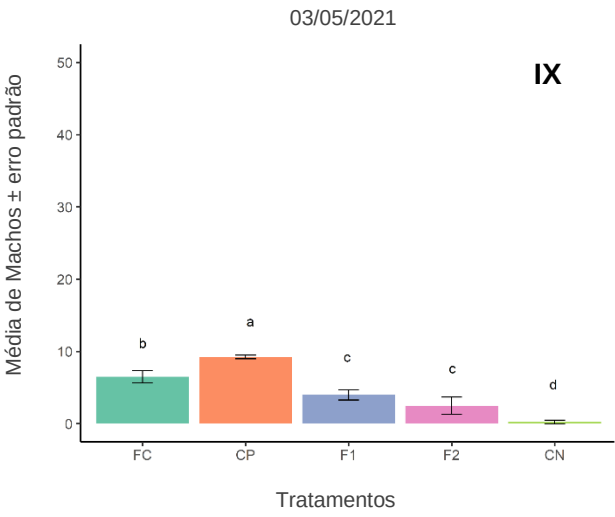
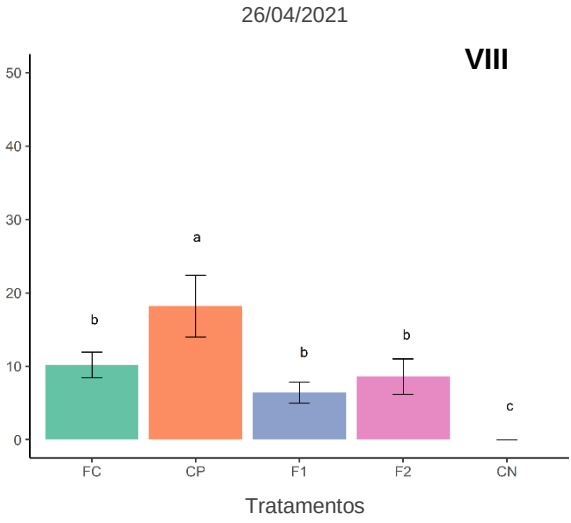
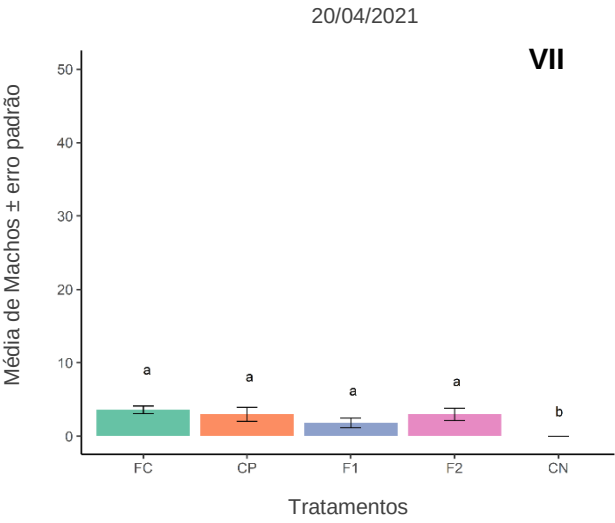


Figura 10. Média de machos de *Spodoptera frugiperda* ($\pm$) erro padrão, capturados na cultura do algodão, cultivar FM 944 GL. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste Scott-Knott.

Na primeira e segunda semana a F1 e F2 não diferiram estatisticamente entre si, mas diferiram da FC. Na terceira avaliação as formulações se igualaram ao CN. Enquanto que na quarta semana a F1 e F2 não diferiram entre si e nem da FC. Após a troca dos septos, na quinta semana, houve captura expressiva apenas no CP, os outros tratamentos não diferiram do CN. Sendo que na sexta semana houve um incremento na captura de mariposas nas formulações experimentais, mas inferior a formulação comercial e fêmea virgem.

Na sétima avaliação todos os tratamentos diferiram do CN, com média de captura inferior a 5 mariposas/semana. Na semana seguinte a F1 e F2 se igualam à FC, diferindo do CP e CN. Entre a nona e décima primeira semana, as capturas nas formulações experimentais foram extremamente baixas, diferindo estatisticamente da FC e CP (Figura 11). Após a segunda troca de septos, houve um aumento gradativo na captura das formulações (F1 e F2), no entanto, as coletas mais expressivas ocorreram na FC e CP, durante o período final das avaliações.





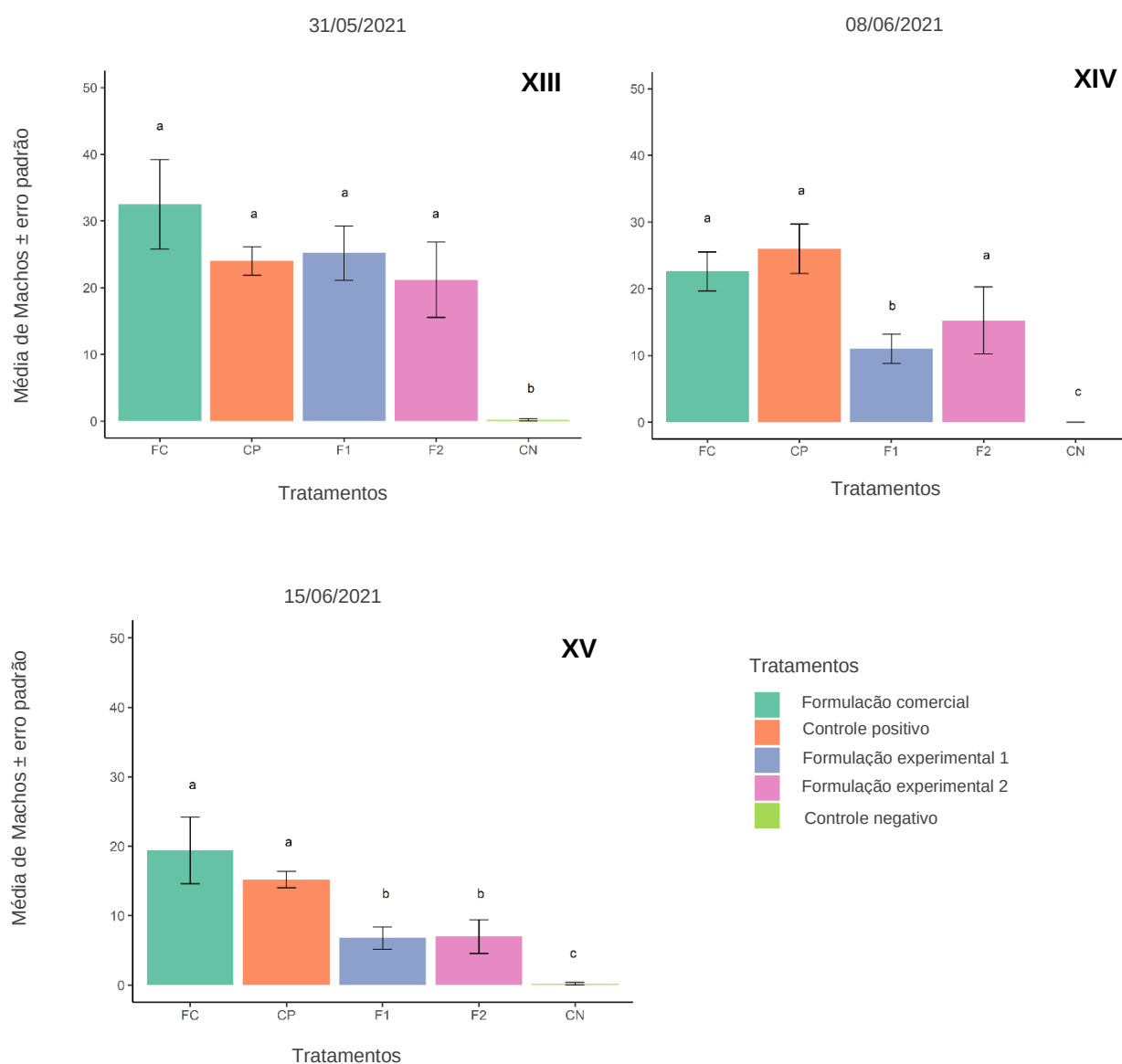


Figura 11. Média das análises semanais de *Spodoptera frugiperda* ($\pm$) erro padrão, capturadas na cultura do algodão. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si ($p > 0,05$) pelo teste Scott-Knott. *Refere-se a troca de septos. Os números (I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII, XIV e XV) do canto superior esquerdo representam a sequência das semanas de avaliação.

Antes da instalação das armadilhas ocorreram aplicações de inseticidas nos dias 23/02/21 e 27/02/21 (Quadro 3). Já após a instalação das armadilhas, foram realizadas 20 pulverizações de inseticidas, ao longo das 15 semanas de avaliações. As aplicações nos dias 09/03 e 12/03, acarretaram em redução na captura das formulações (F1 e F2), sendo a queda mais expressiva na FC, padrão que não se repete no CP (Figura 12; Quadro 3). A aplicação do dia 17/03 manteve a tendência de queda em F1, F2 e FC, afetando também o CP. Nas aplicações de 26 e 27/03 a

captura nas formulações experimentais se manteve baixa, com incremento apenas no CP.

Entre os dias 12/04 e 20/04 foram realizadas três aplicações e houve queda abrupta em todas formulações (F1, F2 e FC), inclusive no CP. Na semana seguinte após a aplicação do dia 23/04, nota-se um incremento na média de captura em todos os tratamentos, exceto no CN. Já nas três avaliações posteriores (03/05 a 17/05), não se pode relacionar a queda de F1 e F2 com as aplicações de inseticidas, pois nesse período, o CP e a FC apresentaram aumento expressivo na coleta mariposas (Figura 12; Quadro 3).

Após a segunda troca de septos houve uma aplicação no dia 20/05, que não influenciou na captura de F1 e F2, pois estas apresentaram uma tendência de crescimento na coleta de adultos de *S. frugiperda* no período de 24/05 a 31/05. Voltando a decrescer a partir da aplicação do dia 03/06, que coincide com final do ciclo da cultura (Figura 12; Quadro 3).

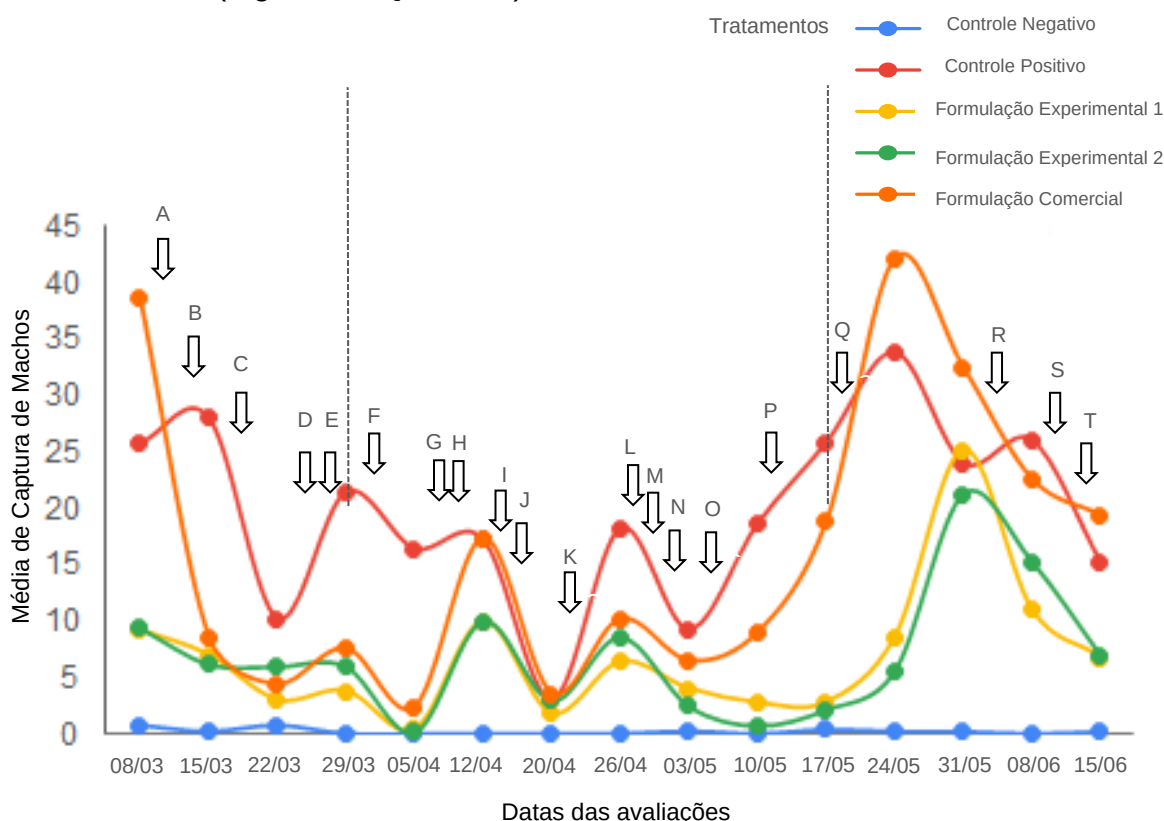


Figura 12. Flutuação populacional de machos de *S. frugiperda* na cultura do algodão. As setas brancas indicam as aplicações de inseticidas após a instalação das armadilhas. **A:** Abamectina + Malationa + Acetamiprido [09/03/21]; **B:** Abamectina + Benzoato de amamectina + Carbossulfano + (Novalurom e Dimetil) [12/03/21]; **C:** Abamectina + Tiodicarbe + Malationa + (Novalurom e Dimetil) [17/03/21]; **D:** Clorfenapir [26/03/21]; **E:** Acetamiprido [27/03/21]; **F:** Metoxifenoizida + Carbossulfano + Clorfenapir + Diafentiurom [03/21]; **G:** Abamectina + Carbossulfano + Metidationa

[08/04/21]; **H:** Malationa + Buprofezina + Piriproxim + Diafentiurom + Tiodicarbe + Benzoato de amamectina [09/04/21]; **I:** Malationa [13/04/21]; **J:** Diafentiurom e Bifentrina + Benzoato de amamectina [15/04/21]; **K:** Malationa [23/04/21]; **L:** Carbossulfano + Clorfenapir [27/04/21]; **M:** Malationa [29/04/21]; **N:** Diafentiurom [30/04/21]; **O:** Carbossulfano [07/05/21]; **P:** Malationa + Carbossulfano + Clorfenapir [13/05/21]; **Q:** Indoxacarbe + Diafentiurom [20/05/21]; **R:** Zeta-cipermetrina + Carbossulfano + Diafentiurom [03/06/21]; **S:** Malationa [10/06/21]; **T:** Zeta-cipermetrina [14/06/21]. As linhas pontilhadas representam as trocas de septos.

Quadro 3. Aplicações de inseticidas/acaricidas na cultura do algodão, cultivar FM 944 GL, safra 2020/21.

Sigla/Data	i.a.	Grupo	Recomendação
- 23/02/21*	Acetamiprido	Neonicotinoide	<i>Aphis gossypii</i>
	Benzoato de amamectina	Avermectina	<i>H. armigera</i> , <i>S. frugiperda</i> .
	Tiametoxam + Lambda cialotrina	Neonicotinoide + Piretroide	<i>Anthonomus grandis</i>
- 27/02/21*	Acetamiprido	Neonicotinoide	<i>A. gossypii</i>
	Clorfenapir	Análogo de pirazol.	<i>C. virescens</i> , <i>H. Armigera</i> , <i>Polyphagotarsonemus latus</i> , <i>Tetranychus urticae</i> , <i>S. frugiperda</i> .
A 09/03/21	Abamectina	Avermectina	<i>Alabama argilacea</i> , <i>P. latus</i> .
	Malationa	Organofosforado	<i>A. argilacea</i> , <i>A. grandis</i> , <i>A. gossypii</i> .
	Acetamiprido	Neonicotinoide	<i>A. gossypii</i> , <i>Bemisia tabaci</i> biótipo B.
B 12/03/21*	Abamectina	Avermectina	<i>A. argilacea</i> , <i>P. latus</i> .
	Benzoato de amamectina	Avermectina	<i>H. armigera</i> , <i>S. frugiperda</i> .
	Carbossulfano	Metilcarbamato	<i>A. gossypii</i> , <i>A. argilacea</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>A. grandis</i> .
	Novalurom + Dimetil	Metilcarbamato + Benzoilureia	<i>A. argilacea</i> , <i>C. Virescens</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>H. Armigera</i> .
C 17/03/21*	Abamectina	Avermectina	<i>A. argilacea</i> , <i>P. latus</i> .
	Tiodicarbe	Metilcarbamato	<i>S. frugiperda</i> , <i>C. Virescens</i> , <i>H. Armigera</i> .
	Malationa	Organofosforado	<i>A. argilacea</i> , <i>A. grandis</i> , <i>A. gossypii</i> .
	Novalurom + Dimetil	Metilcarbamato + Benzoilureia	<i>A. argilacea</i> , <i>C. Virescens</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>H. Armigera</i> .
D 26/03/21*	Clorfenapir	Análogo de pirazol.	<i>C. virescens</i> , <i>H. Armigera</i> , <i>P. latus</i> , <i>T. urticae</i> , <i>S. frugiperda</i> .
E 27/03/21	Acetamiprido	Neonicotinoide	<i>A. gossypii</i>
F 31/03/21*	Metoxifenoazida	Diacilhidrazina	<i>A. argilacea</i> , <i>C. Virescens</i> , <i>H. Armigera</i> .
	Carbossulfano	Metilcarbamato	<i>A. gossypii</i> , <i>A. argilacea</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>A. grandis</i> .
	Clorfenapir	Análogo de pirazol.	<i>C. virescens</i> , <i>H. Armigera</i> , <i>P. latus</i> , <i>T. urticae</i> , <i>S. frugiperda</i> .
	Diafentiurom	Feniltioureia	<i>A. gossypii</i> , <i>B. tabaci</i> biótipo B, <i>P. latus</i> , <i>T. urticae</i> , <i>A. argilacea</i> .

Continua

Continuação

Sigla/Data	i.a.	Grupo	Recomendação
G 08/04/21	Abamectina	Avermectina	<i>A. argilacea</i> , <i>P. latus</i> .
	Carbossulfano	Metilcarbamato	<i>A. gossypii</i>
	Metidationa	Organofosforado	<i>A. grandis</i>
H 09/04/21*	Malationa	Organofosforado	<i>A.</i> , <i>Aphis gossypii</i> .
	Buprofezina	Tiadiazinona	<i>B. tabaci</i> biótipo B.
	Piriproxifem	Éter piridiloxipropílico	<i>B. tabaci</i> biótipo B
	Diafentiurom	Feniltiouréia	<i>A. gossypii</i> , <i>A. argilacea</i> , <i>P. latus</i> , <i>B. tabaci</i> biótipo B, <i>T. urticae</i> .
	Tiodicarbe	Metilcarbamato	<i>S. frugiperda</i> , <i>C. Virescens</i> , <i>H. Armigera</i> .
	Benzoato de amamectina	Avermectina	<i>H. armigera</i> , <i>S. frugiperda</i> .
I 13/04/21	Malationa	Organofosforado	<i>A. argilacea</i> , <i>A. grandis</i> , <i>A. gossypii</i> .
J 15/04/21*	Diafentiurom + Bifentrina	Feniltiouréia + Piretroide	<i>A. gossypii</i> , <i>A. grandis</i> , <i>B. tabaci</i> biótipo B, <i>P. latus</i> , <i>T. urticae</i> .
	Benzoato de amamectina	Avermectina	<i>H. armigera</i> , <i>S. frugiperda</i> .
K 23/04/21	Malationa	Organofosforado	<i>A. grandis</i> , <i>A. gossypii</i> .
L 27/04/21*	Carbossulfano	Metilcarbamato	<i>A. gossypii</i> , <i>A. argilacea</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>A. grandis</i> .
	Clorfenapir	Análogo de pirazol.	<i>C. virescens</i> , <i>H. Armigera</i> , <i>P. latus</i> , <i>T. urticae</i> , <i>S. frugiperda</i> .
M 29/04/21	Malationa	Organofosforado	<i>A. argilacea</i> , <i>A. grandis</i> , <i>A. gossypii</i> .
N 30/04/21	Diafentiurom	Feniltioureia	<i>A. gossypii</i> , <i>B. tabaci</i> biótipo B, <i>P. latus</i> , <i>T. urticae</i> , <i>A. argilacea</i> .
O 07/05/21*	Carbossulfano	Metilcarbamato	<i>A. gossypii</i> , <i>A. argilacea</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>A. grandis</i> .
P 13/05/21*	Malationa	Organofosforado	<i>A. argilacea</i> , <i>A. grandis</i> , <i>A. gossypii</i> .
	Carbossulfano	Metilcarbamato	<i>A. gossypii</i> , <i>A. argilacea</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>A. grandis</i> .
	Clorfenapir	Análogo de pirazol.	<i>C. virescens</i> , <i>H. Armigera</i> , <i>P. latus</i> , <i>T. urticae</i> , <i>S. frugiperda</i> .
Q 20/05/21*	Indoxacarbe	Oxadiazina	<i>H. Armigera</i> , <i>A. argilacea</i> , <i>Pectinophora gossypiella</i> , <i>C. virescens</i> , <i>S. frugiperda</i> , <i>Dysdercus</i> spp.
	Diafentiurom	Feniltioureia	<i>A. gossypii</i> , <i>B. tabaci</i> biótipo B, <i>P. latus</i> , <i>T. urticae</i> , <i>A. argilacea</i> .
R 03/06/21*	Zeta-cipermetrina	Piretroide	<i>A. grandis</i> , <i>A. argilacea</i> , <i>C. Virescens</i> , <i>S. frugiperda</i> .
	Carbossulfano	Metilcarbamato	<i>A. gossypii</i>
	Diafentiurom	Feniltioureia	<i>A. gossypii</i> , <i>B. Tabaci</i> biótipo B, <i>P. latus</i> , <i>T. urticae</i> , <i>A. argilacea</i> .

Continua

Continuação

Sigla/Data	i.a.	Grupo	Recomendação
S 10/06/21	Malationa	Organofosforado	<i>A. grandis</i> , <i>A. gossypii</i> .
T 14/06/21*	Zeta-cipermetrina	Piretroide	<i>A. grandis</i> , <i>A. argilacea</i> , <i>C. Virescens</i> , <i>S. frugiperda</i> .

*Indica a presença de pelo menos um ingrediente ativo (i.a.) recomendado para *S. frugiperda*.

**Produto não recomendado para *S. frugiperda* na cultura do algodão.

Quanto à amostragem no algodão, o número médio de lagartas por metro foi muito baixo e não atingiu o nível de controle recomendado para a cultura. Na primeira semana, por exemplo, a média foi de 0,04 lagartas/m de *S. eridania* (Stoll) (Lepidoptera: Noctuidae). Na segunda, quinta, sétima, oitava, nova e décima quarta semana não foi encontrada nenhuma lagarta na área avaliada. A semana com maior média de lagartas foi na décima segunda, sendo de 0,24 lagartas/m, representadas pelas seguintes espécies: *Helicoverpa* spp., *Chloridea* (= *Heliothis*) *virescens* e *S. frugiperda*. Devido a esse baixo número de lagartas na área, estas não foram relacionadas com a população de adultos coletados.

4 DISCUSSÃO

O uso de feromônio no monitoramento de pragas é uma técnica útil, precisa e segura, utilizada para prever danos futuros, ocasionados aos cultivos agrícolas (SUCKLING, 2015; CRUZ et al., 2012). Devido a sua importância, testou-se as formulações de feromônio sexual sintético para o monitoramento da *S. frugiperda* no estado de Mato Grosso (Brasil). Os compostos F1 e F2, apresentaram potencial para serem usadas no manejo da *S. frugiperda* nas culturas da soja e milho (fase vegetativa). Porém, nossos resultados evidenciaram que o acréscimo de compostos nas formulações não resultou em aumento significativo na captura de machos, assim como sugeriu Tumlinson et al. (1986).

Na soja, por exemplo, a formulação F2 teve um acréscimo de Z11-16:Ald e Z9-16:Ald em relação a F1, mas eles não asseguraram um aumento na captura de machos, indicando que esses compostos não potencializam a coleta na região avaliada. Este comportamento pode ser explicado pelo fato do Z11-16:Ald não ser constante nos extratos das glândulas de fêmeas, podendo variar de 0 a 100% entre uma população e outra (TUMLINSON et al., 1986). Quanto ao Z9-16:Ald, Guo et al. (2020) identificaram que os receptores de feromônio presente nas antenas de *S. frugiperda* não respondem a esse composto, no entanto, os autores não relataram a origem da população estudada.

Além de não observar diferença com a adição dos aldeídos supracitados, também, não encontramos diferença ao utilizar duas proporções do Z7-12:Ac, sendo 5% na F1 e 2,5% na F2. É importante notar que os trabalhos já realizados de identificação dos compostos feromoniais de *S. frugiperda*, verificaram grande oscilação na concentração do Z7-12:Ac, variando de 4% com Tumlinson et al. (1986), 1,12% com Descoins et al. (1988), 0,5% com Meagher e Mitchell (1998), 0,4% com Andrade, Rodriguez, Oehlschlager (2000), 0,8% Batista-Pereira et al. (2006) e 0,9% com Wakamura, Arakaki, Yoshimatsu (2020). Dessa forma, após a avaliação da F1 e F2 na cultura da soja, optamos por continuar com a concentração de 5% de Z7-12:Ac nas formulações subsequentes, apesar de não ser estatisticamente significativa.

Nas formulações testadas na cultura do milho, foram excluídos os aldeídos Z11-16:Ald e Z9-16:Ald da F2 e acrescentado o acetado Z9-12:OAc, contudo, não houve incremento na captura de machos. Apesar de Mitchell, Tumlinson, McNeil (1985), Batista-Pereira et al. (2006), Unbehend et al. (2013) e Guo et al., (2020)

encontrarem o Z9-12:OAc nas glândulas de *S. frugiperda* a sua influência na atratividade de machos não foi observada neste trabalho. Em experimentos de campo na Costa Rica, com a adição do Z9-12:OAc às misturas binárias de Z9-14OAc + Z7-12OAc ou ternárias de Z9-14OAc + Z11-16OAc + Z7-12OAc, também não registraram aumento significativo na captura de machos (ANDRADE; RODRIGUEZ; OEHLISCHLAGER, 2000).

Porém, não existe um padrão para este acetato, pois na Pensilvânia o Z9-12:OAc aliado ao Z9-14:OAc, Z11-16:OAc e Z7-12:OAc potencializou a captura de machos de *S. frugiperda* (FLEISCHER et al., 2005). Ao passo que essa mesma composição, semelhante a F2, na nossa região, não apresentou incremento na captura. Provavelmente deve estar relacionado às pequenas quantidades (Z9-12:OAc) presentes nas glândulas de populações do sudoeste do Brasil, conforme observado por Batista-Pereira et al. (2006). Outra hipótese que pode explicar a ausência de incremento na captura de machos na F2 pode estar relacionada com a proporção do acetato Z9-12:OAc (1%) na formulação, pois de acordo com Fleischer et al. (2005) foi a razão de 0,25% (Z9-12:OAc) que proporcionou melhor resposta na atratividade de machos de *S. frugiperda*.

Destaca-se também, que as 5 fêmeas virgens (usada neste trabalho), visava aumentar o número de plumas de feromônio liberado em campo, devido ao tamanho das áreas utilizadas. Esse número de fêmeas foi maior do que o relatado na literatura, que varia de 1 a 3 fêmeas virgens/armadilha, conforme Cruz-Esteban, Rojas, Malo (2020) e Tumlinson et al. (1986), respectivamente. Essas fêmeas são usadas como parâmetro de comparação, pois de acordo com Cardé e Baker (1984), mesmo à longa distância, o feromônio sexual liberado pelas fêmeas consegue atrair parceiros para o acasalamento. A distância de atratividade pode chegar cerca de 80 m em armadilhas iscadas com uma única fêmea virgem (NAKAMURA; KAWASAKI, 1977). No nosso caso, as 5 fêmeas virgens/armadilha, disputavam com 6000 µg de feromônio sintético incorporado em cada septo, com distâncias entre as armadilhas que variaram de 80 a 100m.

Em relação aos danos causados pela fase larval da *S. frugiperda*, a escala de Davis indicou a presença da praga ao mesmo tempo que as armadilhas atingiam o pico de coleta de machos em campo. Quando o dano nas plantas atingiram o nível de controle as armadilhas estavam capturando cerca de 40 machos / armadilha / semana, uma média de aproximadamente 5,71 mariposas/dia, ultrapassando o nível de

controle, que são de 3 mariposas/dia de acordo com Cruz et al. (2012).

Isso reforça a importância do monitoramento por meio de feromônio, pois indica com melhor precisão a tomada de decisão para o controle da referida praga, já que eles são capazes de atrair machos em intervalos que variam de dezenas a algumas centenas de metros (ALLISON; CARDÉ, 2016). Dessa forma, o feromônio sexual indica com melhor precisão quando a praga está presente na área, servindo como medida para identificar o nível de controle com antecedência (CRUZ et al. 2012; CRUZ et al., 2010).

Quanto aos resultados encontrados na cultura do milho (fase reprodutiva), a disposição das armadilhas abaixo do dossel da planta dificultou a dispersão da pluma de feromônio pelo vento. O que acarretou na irregularidade de captura em todos os tratamentos, além do baixo desempenho das formulações (F1 e F2). Nesse sentido, este trabalho reforça a importância do posicionamento das armadilhas sempre acima do dossel da planta, como demonstrado por Rashid et al. (2019) a localização da armadilha é fundamental para os machos localizarem a fonte de feromônio. Deste modo, a atração dos machos não depende apenas da concentração do feromônio, mas de fatores como o vento, que auxilia na dispersão deste na área (BYERS, 2008).

No que se refere a cultura do algodão, o baixo desempenho das formulações (F1 e F2) pode estar relacionado com a planta hospedeira, migração de mariposas de áreas adjacentes, além das sucessivas aplicações de inseticidas. O cultivo de milho nos talhões próximos ao algodão pode ter favorecido a migração dos machos para as armadilhas, pois o milho é o hospedeiro principal da *S. frugiperda* (MONTEZANO et al., 2018). A proximidade desses cultivos faz com que as mariposas presentes no milho migrem para o algodão como demonstrado por Nagoshi et al. (2007) que relataram a dispersão de *S. frugiperda* (da linhagem do milho) para o cultivo de algodão.

Além disso, Koffi et al. (2021) demonstraram que dependendo da cultura avaliada, uma mesma formulação pode ter resultados discrepantes. Unbehend et al. (2013), supõem que os voláteis específicos de cada cultura, podem influenciar na atração de machos pelo feromônio. Tais fatos, juntamente com as sucessivas aplicações de inseticidas realizadas na área ajudam a entender o baixo desempenho das formulações experimentais (Figura 11).

No panorama geral das aplicações de inseticidas realizadas durante a execução dos experimentos, não foram encontrados efeitos sobre a captura de

mariposas durante o período avaliado nas culturas da soja (n=4) e milho (n=3). No entanto, a cultura do algodão (n=20) as consecutivas aplicações influenciaram para a baixa captura de machos. Dessas 20 aplicações de inseticidas, 12 eram recomendadas para controle de *S. frugiperda* de acordo com o registro no MAPA (Agrofit, 2021). Sendo as pulverizações dos dias 17/03/21, 31/03/21, 15/04/21, 27/04/21 e 03/06/21 as que mais afetaram a redução na captura de mariposas, independente da formulação avaliada.

No entanto, nosso empasse é entender qual seria o limiar entre a efetividade das armadilhas juntamente com as aplicações de inseticidas, visando traçar um manejo eficiente para *S. frugiperda*, onde um método auxilie o outro. Por exemplo, Madhu et al. (2019) registraram redução na captura de mariposas com feromônio sexual de *Helicoverpa armigera*, quando associado com a pulverização de clorantpróximo (antranilamida), seguido de indoxacarbe (oxadiazina) e novaluron (benzoiluréia). Porém essa queda trouxe também redução na infestação de vagens na área (Madhu et al. 2019). Apesar do nosso trabalho não avaliar o impacto sobre as estruturas reprodutivas, essa informação seria importante para trabalhos futuros, pois daria respaldo para analisar melhor os efeitos das aplicações.

Outro ponto a ser observado foi a baixa persistência das formulações experimentais à campo, sendo verificado o máximo três semanas de boa atratividade, seguindo de queda na captura. Entretanto, essa é uma barreira comum nas formulações isacadas à campo, até mesmo as que já estão no mercado tem levado apenas quatro semanas de eficiência (MELO et al. 2005). Esse empasse foi relatado também por Bratovich et al. (2019) para o feromônio de *S. frugiperda* testados na Argentina, onde indicaram que a liberação do odor não era estável. Sendo assim, é importante que haja novos estudos para estabilizar e prolongar o período de liberação do feromônio em campo, para que as formulações consigam monitorar por mais tempo a população de *S. frugiperda* em campo.

Em síntese, encontrar a proporção correta para cada região tem sido a propensão nas pesquisas realizadas com feromônio (CRUZ-ESTEBAN, ROJAS, MALO, 2020; WAKAMURA; ARAKAKI, YOSHIMATSU, 2020). Sendo assim, para finalizar, com base nos achados deste trabalho, podemos inferir que a F1 oferece maior potencial para o manejo de *S. frugiperda* nas culturas da soja e milho. Uma vez que se igualaram à captura das fêmeas virgens (soja/milho), mesmo possuindo menor quantidade de compostos.

5 CONCLUSÃO

A formulação 1 foi mais promissora nas culturas da soja e milho fase vegetativa, reforçando a importância do componente majoritário Z9-14:OAc e dos minoritários Z11-16:OAc e Z7-12:OAc, na atração de machos de *S. frugiperda*. Na cultura do algodão as formulações experimentais não proporcionaram respostas satisfatórias, com grandes oscilações na captura, sendo atribuído, principalmente, às frequentes aplicações de inseticidas. Enquanto que, a cultura do milho, na fase reprodutiva, o método de armadilhamento com feromônio não favoreceu a coleta, pois a altura da planta dificultou a posição correta das armadilhas.

6 REFERÊNCIAS

- Alison JD, Cardé RT. 2016. Pheromone: reproductive isolation and evolution in moths. In: Alison JD, Cardé RT. (ed.). Pheromone communication in moths: evolution, behavior and application. Oakland, California: University of California Press, 11- 23 p.
- Andrade R, Rodriguez C, Oehlschlager AC. 2000. Optimization of a pheromone lure for *Spodoptera frugiperda* (Smith) in Central America. J Braz Chem Soc 11(6): 609-613.
- Agrofit - Sistema De Agrotóxicos Fitossanitários. 2021. Consulta aberta. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 10 setembro 2021.
- Batista-Pereira LG, Stein K, De Paula AF, Moreira JA, Cruz I, Figueiredo MLC, Corrêa AG. 2006. Isolation, Identification, Synthesis, and Field Evaluation of the Sex Pheromone of the Brazilian Population of *Spodoptera frugiperda*. J Che. Ecol 32(5): 1085–1099.
- Bolzan A, Padovez FEO, Nascimento ARB, Kaiser IS, Lira EC, Amaral FSA, Kanno RH, Malaquias JB, Omoto C. 2019. Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides. Pest Manag Sci 75(10): 2682-2689.
- Blanco CA, et al. 2016. Current situation of pests targeted by Bt crops in Latin America. Curr Opin Insect Sci 15: 131-138.
- Blassioli-Moraes MC, Laumann RA, Michereff MFF, Borges M. 2019. Semiochemicals for Integrated Pest Management. In: Sustainable Agrochemistry. Springer Cham, 85-112 p.
- Bratovich C, Saluso A, Murúa MG, Guerenstein PG. 2019. Evaluation of sex pheromone formulations to attract *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) adult males in Argentina. Rev Soc Entomol Argent 78(3): 1-10.
- Cardé RT, Baker TC. 1984. Sexual communication with pheromones. In: Chemical ecology of insects. Springer, Boston, MA, 355-383 p.
- Conab - Companhia Nacional De Abastecimento. 2021. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Décimo segundo levantamento, setembro 2021 – safra 2020/21. Brasília: Conab, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 01 outubro 2021.
- Chimweta M, Nyakudya IW, Jimu L, Mashingaidze AB. 2019. Fall armyworm [*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)] damage in maize: management options for floodrecession cropping smallholder farmers. Int J Pest Manag 66 (2): 142-154.
- Cruz I, Figueiredo MLC, Silva RB, Silva IF, Paula CS, Foster JE. 2012. Using sex pheromone traps in the decision-making process for pesticide application against fall

armyworm (*Spodoptera frugiperda* [Smith] [Lepidoptera: Noctuidae]) larvae in maize. *Int J Pest Manag* 58(1): 83-90.

Cruz I, Figueiredo MLC, Silva RB, Foster JE. 2010. Efficiency of chemical pesticides to control *Spodoptera frugiperda* and validation of pheromone trap as a pest management tool in maize crop. *RBMS* 9(2): 20–27.

Cruz-Esteban S, Rojas JC, Malo EA. 2020. A pheromone lure for catching fall armyworm males (lepidoptera: noctuidae) in Mexico. *Acta Zool Mex* 36: 1-11.

Dallacort R, Martins JA, Inoue MH, Freitas PSL, Coletti AJ. 2011. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do estado de Mato Grosso, Brasil. *Acta Sci Agron* 33(2): 193-200.

Davis FM, Ng SS, Williams WP. 1992. Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. (Technical Bulletin, 186). Mississippi: Agricultural and Forest Experiment Station.

Day R, Abrahams P, Bateman M, Beale T. 2017. Fall armyworm: Impacts and implications for Africa. *Outlooks Pest Manag* 28(5): 196–201.

Deole S, Paul N. 2018. First report of fall army worm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), their nature of damage and biology on maize crop at Raipur, Chhattisgarh. *J Entomol Zool* 6(6): 219-221.

Descoins C, Jean-François S, Lalanne-Cassou B, Chéron H. 1988. Surveillance d'insectes ravageurs des cultures par pigeage sexuel des mles dans les ddpartements de la Guadeloupe et de la Guyane. *Agric Ecosystems Environ* 21: 53-65.

El-Sayed AM. 2021. The Pherobase: Database of pheromones and semiochemicals. 2021. Disponível em: <http://www.pherobase.com>. Acesso em: 20 outubro 2021.

Fernandes OD, Parra JRP, Neto AF, Pícoli R, Borgatto AF, Demétrio AGB. 2003. Efeito do milho geneticamente modificado mon810 sobre a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). *RBMS* 2(2): 25-35.

Fleischer SJ, Harding CL, Blom PE, White J, Grehan J. 2005. *Spodoptera frugiperda* pheromone lures to avoid nontarget captures of *Leucania phragmatidicola*. *J Econ Entomol* 98(1): 66-71.

Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, Tamò M. 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *Plos One* 11(10): 1-9.

Greene GL, Leppla NC, Dickerson WA. 1976. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. *J Econ Entomol* 69(4): 487- 488.

Guo JM, Liu XL, Liu SR, Wei ZQ, Han WK, Guo Y, Dong SL. 2020. Functional characterization of sex pheromone receptors in the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*). *Insects* 11(3): 193.

Haenniger S, Goergen G, Akinbuluma MD, Kunert M, Heckel DG, Unbehend M. 2020. Sexual communication of *Spodoptera frugiperda* from west Africa: adaptation of an invasive species and implications for pest management. *Sci Rep* 10(1): 1-9.

Hellwig L, Grutzmacher AD, Santos PMD, Trecha CDO, Medina LB, Berto RM, Afonso da Rosa APS. 2017. Efeito do aumento da densidade de larvas de *Spodoptera frugiperda* em milho convencional em casa de vegetação. *RBMS* 16(3): 337-350.

Huang F. 2021. Resistance of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, to transgenic *Bacillus thuringiensis* Cry1F corn in the Americas: lessons and implications for Bt corn IRM in China. *Insect Sci* 28(3): 574–589.

Kaiser IS. 2021. Resistência de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a inseticidas bloqueadores de canais de sódio. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Lima ER, McNEIL JN. 2009. Female sex pheromones in the host races and hybrids of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Chemoecology* 19(1): 29–36.

Lo PL, Walker JTS, Horner RM, Hedderley DI. 2013. Development of multiple species mating disruption to control codling moth and leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae). *N Z Plant Prot* 66: 264-269.

Madhu TN, Shah VK, Prabhulinga T, Chakravarthy AK, Ashok Kumar CT. 2019. Optimization of pheromone trap densities and impact of insecticides on pheromone catches for mass trapping *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) in chickpea. *J Entomol Zool* 7(2): 78-84.

Cock MJW, Beseh PK, Buddie AG, Cafá G, Crozier J. 2017. Molecular methods to detect *Spodoptera frugiperda* in Ghana, and implications for monitoring the spread of invasive species in developing countries. *Sci Rep* 7(1): 1-10.

Meagher RLJ, Mitchell ER. 1998. Phenylacetaldehyde enhances upwind flight of male fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to its sex pheromone. *Fla Entomol* 81: 556-559.

Melo EP. 2005. Desempenho de armadilhas à base de feromônio sexual para o monitoramento de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do milho. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Univerisade Federal do Mato Grosso do Sul, Dourados – MS, 63 p.

Miranda JE. 2010. Manejo integrado de pragas do algodoeiro no cerrado brasileiros. Circular técnica 131, Embrapa Algodão: Campina Grande, PB, ISSN 0100-6460.

- Mitchell ER, Tumlinson JH, McNeil JN. 1985. Field evaluation of commercial pheromone formulations and traps using a more effective sex pheromone blend for the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *J Econ Entomol* 78(6): 1364-1369.
- Montezano DG, Specht A, Sosa-Gómez DR, Roque-Specht VF, Sousa-Silva JC, Paula-Moraes SV, Peterson JA, Hunt TE. 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *Entomol african* 26(2): 286-301.
- Nagoshi RN, Adamczyk JJ, Meagher RL, Gore J, Jackson R. 2007. Using stable isotope analysis to examine fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host strains in a cotton habitat. *J Econ Entomol* 100(5): 1569-1576.
- Nakamura K, Kawasaki K. 1977. Active space of the *Spodoptera litura* (F.) sex pheromone and the pheromone component determining this space. *Appl Entomol Zool* 12(2): 162-177.
- Petkevicius K, Löfstedt C, Borodina I. 2020. Insect sex pheromone production in yeasts and plants. *Curr Opin Biotechnol* 65: 259-267.
- Rashid LU, Ahmed AM, Alhilfi AZA, Khoso FN, Rahoo AM, Rajput IA, Soomro DM. 2019. Performance of pheromone traps at different heights for mass trapping of *Helicoverpa armigera* (Noctuidae: Lepidoptera) in chickpea field. *Asian J Agric & Biol* 7(4): 610-616.
- R Core Team. 2020. The R project for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 30 julho 2020.
- Suckling DM. 2015. Can we replace toxicants, achieve biosecurity, and generate market position with semiochemicals? *Front Ecol Evol* 3: 17.1 – 17.7.
- Şimşek Z. 2021. Misir gutasyon sivisinde thiamethoxam ve cyantraniliprole kalintisi ve arılara toksik etkisinin belirlenmesi. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Instituto de Ciências Naturais, Adnan Menderes University, Turquia, 51 p.
- Sisay B, Simiyu J, Malusi P, Likhayo P, Mendesil E, Elibariki N, Wakgari M, Ayalew G, Tefera, T. 2018. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), natural enemies from Africa. *J Appl Entomol* 142(8): 800-804.
- Sharma A, Sandhi RK, Reddy GVP. 2019. A Review of Interactions between Insect Biological Control Agents and Semiochemicals. *Insects* 10(12): 439-455.
- Stone KJ. 1968. Reproductive Biology of the lesser cornstalk borer. I. rearing Technique. *J Econ Entomol* 61(6): 1712-1714.
- Tumlinson JH, Mitchell ER, Teal PEA, Heath, RR, Mengelkoch LJ. 1986. Sex pheromone of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) Identification of components critical to attraction in the field. *J Chem Ecol* 12(9): 1909-1926.

Unbehend M, Hänniger S, Meagher RL, Heckel DG, Groot AT. 2013. Pheromonal Divergence Between Two Strains of *Spodoptera frugiperda*. J Chem Ecol 39(3): 364–376.

Wakamura S, Arakaki N, Yoshimatsu S. 2021. Sex pheromone of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) of a “Far East” population from Okinawa, Japan. Appl Entomol Zool 56(1): 19-25.

Zarbin PHG, Rodrigues MACM, Lima ER. 2009. Feromônio de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. Quím Nova 32(3): 722-731.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Índice de Risco Ambiental (IRA) forneceu um aporte científico para os inseticidas mais comercializados no estado de Mato Grosso, oferecendo informações que visam mitigar os riscos de contaminação, além de ajudar na gestão dos inseticidas avaliados. O IRA também revelou que a malationa, metoxifenoazida, clorotraniliprole, flubendiamida e beta-ciflutrina estão entre os inseticidas de maior ameaça aos ecossistemas. Deste modo, este trabalho pode contribuir para a tomada de decisão, de um inseticida que cause menor impacto no ambiente, a partir do gerenciamento dos riscos, a fim de garantir a proteção aos organismos não-alvo, habitats nativos e recursos hídricos.

Em relação aos experimentos com as formulações feromonais de *S. frugiperda*, constatou-se, que nenhum dos componentes adicionais da formulação 2 foram essenciais para a atração dos machos, na região de estudo, e que a formulação 1 apresentou resposta de captura satisfatória (na soja e milho fase vegetativa), mesmo contendo menor quantidade de compostos, reforçando a importância dos componentes Z9-14: Ac, Z11-16: Ac e Z7-12: Ac, como cruciais para atração de machos da referida praga. Contudo, mais estudos precisam ser realizados, para garantir a persistência mínima de quatro semanas em campo, a fim de garantir maior eficiência das formulações.