



ESTADO DE MATO GROSSO
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
PRPPG - PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TANGARÁ DA SERRA
PPGASP – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E
SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA



JÉSSICA KARINA GUEDES CAVALCANTE

**RISCO AMBIENTAL DOS INSETICIDAS APLICADOS NO ESTADO DE MATO
GROSSO E O USO DE BACTÉRIAS ENTOMOPATOGÊNICAS COMO
ESTRATÉGIA PARA O MANEJO DE PERCEVEJO-MARROM NA SOJA**

**TANGARÁ DA SERRA/MT - BRASIL
2024**



ESTADO DE MATO GROSSO
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
PRPPG - PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TANGARÁ DA SERRA
PPGASP – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E
SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA



JÉSSICA KARINA GUEDES CAVALCANTE

RISCO AMBIENTAL DOS INSETICIDAS APLICADOS NO ESTADO DE MATO GROSSO E O USO DE BACTÉRIAS ENTOMOPATOGÊNICAS COMO ESTRATÉGIA PARA O MANEJO DE PERCEVEJO-MARROM NA SOJA

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 D.Sc. Mônica Josene Barbosa Pereira

**TANGARÁ DA SERRA/MT - BRASIL
2024**

©by Jéssica Karina Guedes Cavalcante, 2024.

Luiz Kenji Umeno Alencar CRB 1/2037

CAVALCANTE, Jéssica Karina Guedes.
C376r Risco Ambiental dos Inseticidas Aplicados no Estado de Mato Grosso e o Uso de Bactérias Entomopatogênicas como Estratégia para o Manejo de Percevejo-Marrom na Soja / Jéssica Karina Guedes Cavalcante – Tangará da Serra, 2024.
78 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso
(Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação *Stricto Sensu* (Mestrado Acadêmico) Interdisciplinar em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola, Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas, Engenharia e da Saúde, Campus de Tangará da Serra, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2024.
Orientador: Mônica Josene Barbosa Pereira

1. Ira. 2. *Euschistus heros*. 3. Unidades Formadoras de Colônias. 4. Associação de Produtos. 5. *Pseudomonas fluorescens*+*Pseudomonas chlororaphis*. I. Jéssica Karina GuedesCavalcante. II. Risco Ambiental dos Inseticidas Aplicados no Estado de Mato Grosso e o Uso de Bactérias Entomopatogênicascomo Estratégia para o Manejo de Percevejo-Marrom na Soja: .
CDU 632.93:633.34

JÉSSICA KARINA GUEDES CAVALCANTE

RISCO AMBIENTAL DOS INSETICIDAS APLICADOS NO ESTADO DE MATO GROSSO E O USO DE BACTÉRIAS ENTOMOPATOGÊNICAS COMO ESTRATÉGIA PARA O MANEJO DE PERCEVEJO-MARROM NA SOJA

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 28 de Fevereiro de 2024.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **MONICA JOSENE BARBOSA PEREIRA**
Data: 29/02/2024 23:51:01-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.^a D.Sc. Mônica Josene Barbosa Pereira
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Tangará da Serra
(Orientadora)

Documento assinado digitalmente
 **HILTON MARCELO DE LIMA SOUZA**
Data: 04/03/2024 17:19:53-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.^o D.Sc. Hilton Marcelo de Lima Souza
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Tangará da Serra
(membro interno)

Documento assinado digitalmente
 **JOSE EDUARDO MARCONDES DE ALMEIDA**
Data: 22/03/2024 09:13:18-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.^o D.Sc. José Eduardo Marcondes de Almeida
Instituto Biológico, Campinas
(membro externo)

TANGARÁ DA SERRA/MT - BRASIL
2024

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, por terem dado a oportunidade de concretizar o sonho de ser Engenheira agrônoma.

Aos meus irmãos caçulas Junior e Karol, por adoçarem a minha vida.

Ao meu marido Rangel, por seu amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus e à Nossa Senhora Aparecida por todas as benções concedidas em minha trajetória acadêmica, mas principalmente, por terem dado uma segunda oportunidade de viver e, assim, poder estar ao lado de quem amo.

À minha família, meus pais e meus irmãos por todo o apoio necessário nos dias tristes e felizes. Eles foram os primeiros motivadores para que eu corresse atrás dos meus sonhos.

Ao meu amado marido Rangel (“Ranges”), meu porto seguro e parceiro de todas as horas. Obrigada, por alegrar os meus dias e, por me distrair (juntamente com nossas pequenas de quatro patas: Luna e Mel) das angústias e dores diárias. Sem o amor de vocês, não conseguiria finalizar essa etapa.

À minha orientadora Prof.^a Mônica, que sempre acreditou em mim, desde a graduação e que contribuiu para que eu me apaixonasse pelo controle biológico de insetos. Sou grata pelos seus ensinamentos, por seu carinho e por sua confiança no meu trabalho.

À minha querida amiga Karolainny (que me presenteou com um lindo afilhado) por compreender minha correria durante o mestrado e pela torcida para que tudo desse certo. Nos momentos mais difíceis, orou por mim e pela minha recuperação e, sempre serei grata por sua amizade.

À Ellen Barnabé, por conceder os diferentes produtos fitossanitários, os quais foram fundamentais nas análises de compatibilidade *in vitro* e de calda.

Ao Laboratório de Microbiologia, especialmente, à técnica responsável Evillyn, pela disponibilidade e paciência no auxílio de todos os procedimentos necessários para executar os bioensaios de compatibilidade.

Aos voluntários/bolsistas pelo apoio nas atividades da criação do percevejo-marrom e os demais colegas do Laboratório de Entomologia pelo convívio durante o mestrado.

Ao PPGASP, em especial ao Conselho, pela compreensão nos momentos em que precisei.

Por fim, a todos (as) que diretamente ou indiretamente auxiliaram na execução desse trabalho.

Muito obrigada e sucesso a todos (as)!

“Concedei-me Senhor, serenidade necessária para aceitar as coisas que não posso modificar, coragem para modificar as que posso e sabedoria para distinguir umas das outras.”

*Oração da serenidade
Reinhold Niebuhr*

“Sede fortes e corajosos! Não vos intimideis nem tenhais medo deles! Pois o Senhor teu Deus é ele mesmo o teu guia e não te deixará, nem te abandonará”.

*Deuteronômio, 31:6
Bíblia Sagrada*

LISTA DE SIGLAS

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento
IMEA: Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária
IRA: Índice de Risco Ambiental
EPA: Environmental Protection Agency
EFSA: European Food Safety Authority
ONU: Organização das Nações Unidas
INDEA: Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso
PPDB: Pesticide Properties Database - Universidade de Hertfordshire
IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ANVISA: Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CPEDA: Centro de Pesquisas, Estudos e Desenvolvimento Agro-Ambiental
MIP: Manejo Integrado de Pragas
HCN: Cianeto de hidrogênio
i.as.: Ingredientes ativos
DT₅₀: Persistência
K_{ow}: Coeficiente octanol-água
R_{fd}: Dose de referência
DL₅₀: Dose letal
LIX: Índice de lixiviação
PT: Perfil toxicológico
CL₅₀: Concentração letal
K: Degradação diária
pH: Potencial hidrogeniônico
P: Pressão de vapor
AT: Ecotoxicologia animal
AChE: Acetilcolinesterase
GABA: Ácido gama-aminobutírico
CbE: Carboxilesterase
UFC: Unidade formadora de colônia
DIC: Delineamento inteiramente casualizado
ANOVA: Análise de variância

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Sequência da coleta dos dados para estimar o IRA.	26
Figura 2 -	Equações utilizadas para construção do IRA.	27
Figura 3 -	Criação de <i>E. heros</i> em condições de laboratório. Tangará da Serra – MT, 2023.	64
Figura 4 -	Detalhamento dos tratamentos que permitiram a formação de colônia.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Grau de severidade, valores atribuídos e intervalos para cada termo do IRA.	28
Tabela 2 -	Grau de severidade, valores atribuídos e intervalos para cada termo de PT.	29
Tabela 3 -	Ingredientes ativos com seus respectivos grupos químicos, comercializados no estado de MT, no ano de 2022, para controle de percevejo-marrom na soja.	30
Tabela 4 -	Propriedades físico-químicas usadas para calcular o IRA dos inseticidas.	32
Tabela 5 -	Solubilidade em água (S_w) e ionização dos i.as.	36
Tabela 6 -	Parâmetros ecotoxicológicos dos principais inseticidas utilizados no estado de MT.	37
Tabela 7 -	Perfil toxicológico (PT)* construído a partir dos parâmetros ecotoxicológicos.	38
Tabela 8 -	Índice de Risco Ambiental (IRA)* dos i.as., em ordem decrescente.	41
Tabela 9 -	Descrição dos tratamentos avaliados quanto a compatibilidade <i>in vitro</i> com <i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> .	61
Tabela 10 -	Escala de compatibilidade para <i>Pseudomonas</i> adaptada de Louis et al. (2016).	62
Tabela 11 -	Descrição dos tratamentos avaliados quanto a compatibilidade de calda com <i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> .	62
Tabela 12 -	Médias ($\pm$ EP) dos parâmetros de crescimento <i>in vitro</i> de <i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> após exposição aos tratamentos.	66
Tabela 13 -	Classificação dos tratamentos quanto a compatibilidade de calda com <i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> .	69
Tabela 14 -	Valores médios ($\pm$ EP) de duração de período ninfal e razão sexual de <i>E. heros</i> observados nos tratamentos compatíveis.	70
Tabela 15 -	Valores médios ($\pm$ EP) dos parâmetros reprodutivos de <i>E. heros</i> observados nos tratamentos compatíveis.	71

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE SIGLAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
RESUMO GERAL	11
ABSTRACT GENERAL	12
INTRODUÇÃO GERAL.....	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
ARTIGO 1 - Estimativa do índice de risco ambiental de inseticidas comercializados para a cultura da soja (<i>Glycine max</i> L.) no estado de Mato Grosso.....	23
RESUMO.....	23
ABSTRACT	23
1. INTRODUÇÃO	23
2. MATERIAL E MÉTODOS	26
2.1 Coleta de dados	26
2.2 Índice de risco ambiental (IRA)	27
2.2.1 Persistência.....	27
2.2.2 Lixiviação.....	27
2.2.3 Volatilização.....	28
2.2.4 Dose.....	28
2.2.5 Perfil toxicológico.....	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4. CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ARTIGO 2 - Compatibilidade da associação de <i>Pseudomonas fluorescens</i> e <i>Pseudomonas chlororaphis</i> com produtos fitossanitários sobre <i>Euschistus heros</i> (Hemiptera: Pentatomidae)	56
RESUMO.....	56
ABSTRACT	56
1. INTRODUÇÃO	57
2. MATERIAL E MÉTODOS	59
2.1 Obtenção das bactérias <i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i>	59
2.2 Compatibilidade <i>in vitro</i> entre <i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> e os produtos fitossanitários.....	59
2.3 Compatibilidade de calda entre <i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> e os produtos fitossanitários.....	59
2.4 Criação de <i>E. heros</i> (Hemiptera: Pentatomidae).....	63
2.5 Bioensaio <i>in vivo</i> de patogenicidade da associação de <i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> aos produtos fitossanitários sobre ninfas de <i>E. heros</i> (Hemiptera: Pentatomidae).....	64
2.6 Bioensaio <i>in vivo</i> de patogenicidade da associação de <i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> aos produtos fitossanitários sobre adultos de <i>E. heros</i> (Hemiptera: Pentatomidae).....	65
2.7 Análise estatística dos dados.....	65
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4. CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
CONSIDERAÇÕES FINAIS	78

RESUMO GERAL

Euschistus heros (Hemiptera: Pentatomidae), comumente denominado de percevejo-marrom, é considerado praga-chave da cultura da soja, devido aos danos causados nas vagens e grãos. Atualmente, o seu manejo é fundamentado, quase que exclusivamente, na pulverização de inseticidas químicos. Por conseguinte, emerge a preocupação quanto ao risco ambiental desses defensivos, que pode ser estimado através de determinadas ferramentas como o Índice de Risco Ambiental (IRA). Ademais, também é evidente, nos últimos anos, a aplicação de microrganismos entomopatogênicos (bactérias, fungos e vírus) associados com agrotóxicos, tencionando minimizar reentradas na lavoura. Todavia, dados da compatibilidade dessas associações são escassos, sobretudo, no controle de *E. heros*. Desse modo, o presente trabalho teve por objetivo estimar o IRA dos inseticidas utilizados no controle de percevejo-marrom na soja e avaliar a compatibilidade da associação de bactérias entomopatogênicas com produtos fitossanitários registrados para essa cultura. Os dados dos ingredientes ativos (i.as.) mais comercializados para o manejo de percevejo-praga na soja, no ano de 2022, foram coletados junto ao Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso (INDEA-MT). As características físico-químicas dos princípios ativos foram obtidas na base *Pesticide Properties Database (PPDB)* da Universidade de Hertfordshire. Os parâmetros utilizados para calcular o IRA foram: persistência, lixiviação, volatilização, perfil toxicológico e dose. No teste de compatibilidade *in vitro*, foram avaliados 24 produtos fitossanitários associados com *Pseudomonas fluorescens*+*Pseudomonas chlororaphis*, enquanto, no teste de calda, foram simuladas sete caldas, com base nas aplicações dos sojicultores da região. A compatibilidade foi determinada através da contagem de unidades formadoras de colônias (UFCs) e medição do diâmetro de colônia (cm). As associações consideradas compatíveis foram usadas nos bioensaios *in vivo* com ninfas de 3º ínstar e adultos (fêmeas) de *E. heros*. A partir dos resultados obtidos, constatou-se que no ano de 2022 foram comercializados 11.612.956 kg de inseticidas químicos para a soja, com o i.a. acefato representando $\cong 33,18\%$ desse volume (3.853.687 kg). Quanto ao IRA, o índice mais alto foi observado para o neonicotinoide imidacloprido (IRA=12), enquanto, o menor valor foi constatado para o organofosforado acefato (IRA=5) e a sulfoxamina sulfoxaflor (IRA=5). Nos bioensaios *in vitro*, dos 24 produtos avaliados, apenas *Beauveria bassiana* e indoxacarbe foram compatíveis para *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*. Em relação às caldas, todas foram incompatíveis, inibindo o crescimento das bactérias em estudo. Nos testes *in vivo*, as associações *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + indoxacarbe e *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + *B. bassiana* reduziram, significativamente, os parâmetros reprodutivos de *E. heros*. Perante tais resultados, espera-se que a estimativa do IRA forneça subsídios para a seleção de i.as. com baixa toxicidade, de maneira a minimizar os impactos negativos advindos de pulverizações indevidas, além disso, ficou evidente nos bioensaios, que não é segura a recomendação da associação entre *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* com herbicidas, fungicidas, adjuvantes e certos inseticidas, posto que essas foram altamente tóxicas aos microrganismos. Por fim, concluiu-se que as bactérias não evidenciaram bioatividade no controle de percevejo-marrom.

Palavras-chave: IRA, *Euschistus heros*, Unidades Formadoras de Colônias, Associação de produtos, *Pseudomonas fluorescens*+*Pseudomonas chlororaphis*

ABSTRACT GENERAL

Euschistus heros (Hemiptera: Pentatomidae), commonly called brown stink bug, is considered a key pest of soybean crops, due to the damage caused to pods and grains. Currently, its management is based, almost exclusively, on the spraying of chemical insecticides. Consequently, concern emerges regarding the environmental risk of these pesticides, which can be estimated through certain tools such as the Environmental Risk Index (ERI). Furthermore, in recent years, the application of entomopathogenic microorganisms (bacteria, fungi and viruses) associated with pesticides is also evident, with the aim of minimizing re-entry into the crop. However, data on the compatibility of these associations are scarce, especially in the control of *E. heros*. Therefore, the present work aimed to estimate the ERI of insecticides used to control brown stink bug in soybeans and evaluate the compatibility of the association of entomopathogenic bacteria and phytosanitary products registered for this crop. Data on the most commercialized active ingredients (a.i.s.) for the management of stink bug in soybeans in 2022 were collected from the Mato Grosso Agricultural Defense Institute (INDEA-MT). The physicochemical characteristics of the active ingredients were obtained from the *Pesticide Properties Database* (PPDB) at the University of Hertfordshire. The parameters used to calculate the ERI were: persistence, leaching, volatilization, toxicological profile and dose. In the *in vitro* compatibility test, 24 phytosanitary products associated with *Pseudomonas fluorescens*+*Pseudomonas chlororaphis* were evaluated, while in the spray test, seven sprays were simulated, based on applications by soybean farmers in the region. Compatibility was determined by counting colony forming units (CFUs) and measuring colony diameter (cm). The associations considered compatible were used in *in vivo* bioassays with 3rd instar nymphs and adults (females) of *E. heros*. From the results obtained, it was found that in 2022, 11.612.956 kg of chemical insecticides for soybeans were sold, with acephate representing $\cong 33,18\%$ of this volume (3.853.687 kg). Regarding ERI, the highest index was observed for the neonicotinoid imidacloprid (ERI=12), while the lowest value was found for the organophosphate acephate (ERI=5) and the sulfoxamine sulfoxaflor (ERI=5). In *in vitro* bioassays, of the 24 products evaluated, only *Beauveria bassiana* and indoxacarb were compatible for *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*. Regarding the sprays, they were all incompatible, inhibiting the growth of the bacteria under study. In *in vivo* tests, the associations *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + indoxacarb and *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + *B. bassiana* significantly reduced the reproductive parameters of *E. heros*. Given these results, it is expected that the ERI estimate will provide support for the selection of i.as. with low toxicity, in order to minimize the negative impacts arising from undue spraying, in addition, it was evident in the bioassays that the recommendation of the association between *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* with herbicides, fungicides, adjuvants and certain insecticides, as these were highly toxic to microorganisms. it was concluded that the bacteria did not show bioactivity in controlling brown stink bug.

Keywords: ERI, *Euschistus heros*, Colony Forming Units, Product association, *Pseudomonas fluorescens*+*Pseudomonas chlororaphis*.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais de soja (*Glycine max* L.), que se tornou uma *commodity* agrícola extremamente relevante para a economia agrícola do país (LEITE et al., 2022). Na safra 2022/23, foram produzidas 155.736.500 toneladas (t) de soja no Brasil, sendo que o estado de Mato Grosso (MT) produziu 45.600.500 t, com produtividade média de 3.773,00 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023).

Apesar dos bons rendimentos conquistados, certos fatores como adversidades climáticas, competição com plantas daninhas, incidência de doenças e insetos-praga, podem interferir, negativamente, na rentabilidade da soja (RAMOS, 2020). No Mato Grosso, a estimativa em relação ao custo total de defensivos, para a safra 2023/24, em soja convencional, é de aproximadamente, 44,1%, 21,4%, 29,2% e 5,4%, para inseticidas, herbicidas, fungicidas e adjuvantes, respectivamente (IMEA, 2023).

Dentre os insetos-praga que incidem na cultura, destaca-se o percevejo-marrom (*Euschistus heros*) (Fabricius, 1794) (Hemiptera: Pentatomidae), considerado a principal praga da soja, sendo uma das espécies mais predominantes nas áreas agrícolas (SOSA-GÓMEZ et al., 2009; PANIZZI, 2015). Tanto as ninfas (a partir do 3º ínstar) quanto os adultos de *E. heros* atacam o grão/vagem de soja, reduzindo a massa ou o teor de óleo e, conseqüentemente, a germinação/vigor de sementes (PANIZZI; BUENO; SILVA, 2012; SÓSA-GOMEZ et al., 2014).

Além disso, o rendimento de grãos pode decrescer conforme há o aumento de infestação de *E. heros* no estágio reprodutivo da cultura, impactando a produção de modo significativo (FERREIRA et al., 2018). Logo, a principal tática de manejo do *E. heros* é a pulverização de inseticidas químicos, principalmente, pertencentes aos grupos dos neonicotinoides, piretroides, carbamatos e organofosforados (ZAMBIAZZI et al., 2011; RIBEIRO et al., 2016; ROGGIA et al., 2019).

Dentro dos grupos anteriormente citados, os neonicotinoides estão entre os mais utilizados nas lavouras de soja do mundo, fator que têm resultado no surgimento de populações resistentes de percevejo-marrom e no desafio iminente pela busca de ferramentas sustentáveis de manejo (CASTELLANOS et al., 2019). Outros estudos já comprovaram que, atualmente, *E. heros* apresenta baixa suscetibilidade aos organofosforados, piretroides e também aos neonicotinoides (SOSA-GÓMEZ et al., 2019; SOMAVILLA et al., 2020).

Quando empregado de modo inadequado e constante, o manejo químico favorece o surgimento de populações resistentes, a contaminação do meio ambiente

e a perda da biodiversidade de inimigos naturais, podendo, ainda, apresentar riscos para a saúde humana, especialmente, para os trabalhadores rurais ou aqueles que manuseiam diretamente os defensivos tóxicos (SÓSA-GOMEZ et al., 2010; VICTOR et al., 2022).

Dessa maneira, para minimizar os efeitos supracitados, é necessário compreender a dinâmica dos agrotóxicos no agroecossistema e o risco ambiental desses (ALISTER; KOGAN, 2006). Entre as medidas existentes para tal fim, destaca-se o Índice de Risco Ambiental (IRA), o qual considera uma série de fatores, como a toxicidade do defensivo para organismos não-alvo, persistência, capacidade de bioacumulação e o potencial de lixiviação (DAMALAS; ELEFTHEROHORINOS, 2011; AGOST; VELÁSQUEZ, 2020).

É válido ressaltar que o cálculo do IRA pode variar dependendo do país e das regulamentações locais, sendo um processo complexo que requer conhecimentos especializados e dados científicos robustos (AGOST; VELÁSQUEZ, 2020). As agências reguladoras de pesticidas, como a *Environmental Protection Agency* (EPA) nos Estados Unidos ou a *European Food Safety Authority* (EFSA) na União Europeia, realizam avaliações detalhadas do risco ambiental de inseticidas, por exemplo, antes de concederem autorizações para uso, levando em conta, informações relevantes quanto a recomendação agrônômica do agrotóxico, a exposição esperada e as medidas necessárias para mitigar os riscos (DONLEY, 2019).

Atualmente, estudos relatados na literatura oferecem informações científicas suficientes acerca dos produtos químicos (LEWIS et al., 2016). Nessa conjuntura, o IRA torna-se uma ferramenta de triagem que facilita a tomada de decisão e apoia, tecnicamente, o registro local de agroquímicos (ALISTER; KOGAN, 2006). A classificação do IRA envolve a avaliação e categorização dos riscos associados a determinados aspectos do meio ambiente, variando de baixo a alto risco, de forma a facilitar a escolha do i.a. que apresente o menor IRA. Entretanto, todos os pesticidas podem impactar, adversamente, toda a cadeia animal, se forem usados incorretamente (BOUAGGA et al., 2016; DUGAN; MUHAMMETOGLU; USLU, 2023).

Logo, é emergente a demanda por uma agricultura mais sustentável, levando em consideração, que o controle de percevejos fitófagos na soja é fundamentado na aplicação de inseticidas químicos, de maneira exacerbada e, em muitos casos, desconsiderando os critérios técnicos do Manejo Integrado de Pragas (MIP), com consequente aumento do número de pulverizações no ciclo da cultura, supressão da

população de inimigos naturais (entomopatógenos, predadores e parasitoides, por exemplo) e elevação dos riscos ambientais (SOSA-GOMÉZ; OMOTO, 2012; ARIAS et al., 2022).

Partindo desse pressuposto, a Organização das Nações Unidas (ONU), estipulou para os 193 países-membros da ONU, o compromisso de atingir vários objetivos de desenvolvimento sustentável (ODSs), dentre eles, a redução no uso de pesticidas nos agroecossistemas, de modo a garantir uma produção baseada em técnicas alternativas e de controle biológico das pragas agrícolas, de maneira a minimizar a contaminação de todos os organismos vivos (ONU, 2015).

Desponta-se, nessa conjuntura, a aplicação biotecnológica de inseticidas à base de bactérias entomopatogênicas, caso do gênero *Pseudomonas* e que são eficientes para insetos-praga de diferentes ordens (KUPFERSCHMIED; MAURHOFER; KEEL, 2013; ANDERSON; KIM, 2018; TEOH; FURUSAWA; SINGHAM, 2021). Espécies como *P. chlororaphis* e *P. fluorescens* são conhecidas por sintetizarem proteínas *Fit*, cianeto de hidrogênio (HCN) e diferentes tipos de lipopeptídeos cíclicos, que lhe caracterizam como bioinseticidas (DEVI; KOTHAMASI, 2009; RUFFNER et al., 2013; FLURY et al., 2017). As bactérias supracitadas pertencem a ordem Pseudomonadales e família Pseudomonadaceae, sendo morfológicamente caracterizadas como gram-negativas, de formato bastonete e não esporulantes (GANESHAN; KUMAR, 2005; PEIX et al., 2007; LEWIS et al., 2016; MONNERAT et al., 2020).

P. chlororaphis causa a mortalidade de insetos de várias ordens por via oral, através de seus metabólitos (RUFFNER et al., 2015; FLURY et al., 2016; FLURY et al., 2017). Diversos estudos levaram ao reconhecimento de moléculas produzidas por *P. chlororaphis* e que evidenciam atividade inseticida, como as proteínas *Fit* utilizadas no manejo de *Spodoptera littoralis*, *Heliothis* (=Chloridea) *virescens* e *Plutella xylostella* (RUFFNER et al., 2013), além de cianeto de hidrogênio e diferentes tipos de lipopeptídeos cíclicos avaliados em *Galleria mellonella* e *P. xylostella* (FLURY et al., 2017).

Ademais, já existem plantas transgênicas de milho expressando proteína IPD072Aa de *P. chlororaphis* no controle da *Diabrotica virgifera virgifera* (SCHELLENBERGER et al., 2016). Tal proteína já foi avaliada em insetos-praga das ordens Lepidoptera e Coleoptera, tendo sido observado que a mesma atrasa o desenvolvimento dos coleópteros, sendo que em lepidópteros não foram constatados

efeitos adversos (BOECKMAN et al., 2019). Em estudos conduzidos por Kang; Anderson; Kim (2018), notou-se que os voláteis produzidos por *P. chlororaphis* isolado 06, especialmente, o HCN, promoveram mortalidade satisfatória (100%) de ninfas de segundo ínstar de pulgão-verde (*Myzus persicae*) expostas em folhas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L. 'Xanthi'), as quais tiveram a respiração mitocondrial afetada pelo HCN.

Vários experimentos têm esclarecido, nos últimos anos, o potencial inseticida de *P. fluorescens*, já tendo sido relatado que a sua atividade inseticida oral e sistêmica é restrita a cepas de subgrupos filogenéticos específicos de *P. fluorescens* (FLURY et al., 2016), sendo que são conhecidas, no mínimo, quatro cepas de *P. fluorescens* patogênicas a insetos e seus modos de ação (síntese de proteínas *Fit*, quitinase, fosfolipase, cianeto de hidrogênio e rizoxina, por exemplo) são, geralmente, semelhantes entre os diferentes hospedeiros (DEVI; KOTHAMASI, 2009; RUFFNER et al., 2013; TEOH; FURUSAWA; SINGHAM, 2021).

Apesar da ampla abordagem científica dessas espécies em bancos de dados internacionais, no Brasil, são escassas as informações quanto ao emprego dessas bactérias, mesmo com o registro de um bioinseticida à base de *P. chlororaphis* + *P. fluorescens* (AGROFIT, 2023), visando o manejo biológico de sugadores em sistemas agrícolas, dentre eles, o *E. heros*. Nessa perspectiva e sabendo-se que os defensivos não são aplicados isoladamente nas lavouras, já que o produtor aproveita para associar diferentes i.as. em uma mesma pulverização, tencionando evitar reentradas com máquinas na área de cultivo (GAZZIERO, 2015), ascende a primordialidade de compreender os efeitos da associação entre bactérias entomopatogênicas e produtos químicos aplicados na soja cultivada no país.

Esses efeitos podem ser averiguados através da terminologia “compatibilidade”, a qual permite verificar se um defensivo agrícola é tóxico ou não, a um agente de controle biológico. São inúmeras as metodologias pré-definidas em laboratório e comentadas em literatura acerca dos estudos de compatibilidade *in vitro*. Dentre essas, pode-se destacar a alocação de diferentes concentrações de produtos fitossanitários (fungicidas, inseticidas, herbicidas, adjuvantes, etc.) em meio de cultura King B® previamente autoclavado, que após solidificado, é inoculado com suspensões bacterianas de *P. fluorescens* são distribuídas e as placas (invertidas) incubadas a 37±2°C por 48 horas. Após esse período, as placas dos tratamentos são avaliadas quanto a inibição do crescimento bacteriano, comparando-as com o tratamento

controle, ou seja, isento de agrotóxico (SINGH et al., 2021).

Outra maneira de quantificar a compatibilidade *in vitro* é a inserção de doses mínima e máxima recomendada na bula comercial dos defensivos em meios de cultura específicos para a bactéria a ser estudada que, após estarem solidificados, receberão suspensões bacterianas em concentração padronizada, através de pipetagem e dispersão com auxílio de alça de inoculação; posteriormente, as placas serão incubadas por 48 horas e o número de colônias contado e comparado com o controle, de maneira a classificar a compatibilidade em: + + + (bom), + + (moderado), + (ruim) e – (sem crescimento) (KURHADE et al., 2016; HANUMAN; MADHAVI, 2018).

Além dos testes conduzidos *in vitro*, podem ser conduzidos bioensaios *in vivo*, pulverizando tanto as bactérias quanto os tratamentos classificados como compatíveis, em diferentes estágios de desenvolvimento do inseto. À vista desse pressuposto, Martins et al. (2016) estudaram a patogenicidade de extratos de *Pseudomonas aeruginosa* e *Burkholderia* sp. em ninfas de segundo ínstar de *E. heros*, aplicando as caldas sobre as ninfas dispostas, que foram avaliadas durante 10 dias (mortalidade acumulada), para calcular a eficiência de controle, por intermédio da fórmula de Henderson; Tilton (1955). Ao 10º dia de avaliação, os autores observaram baixa mortalidade das ninfas, não ultrapassando 53% de eficiência de controle.

Perante a escassez de informações concernentes ao uso e compatibilidade de *P. chlororaphis* e *P. fluorescens* com agrotóxicos no manejo de percevejo-marrom, bem como os riscos ambientais dos i.as. químicos frequentemente pulverizados nessa cultura, o presente trabalho avaliou as seguintes hipóteses: a primeira, se existe como estimar o risco ambiental dos inseticidas mais comercializados no estado de MT para o controle de percevejo-marrom na soja e a segunda hipótese, verificar se há compatibilidade de bactérias entomopatogênicas associadas com produtos fitossanitários sobre *E. heros*. Dessa maneira, foram elaborados dois artigos: o primeiro intitulado “Estimativa do índice de risco ambiental de inseticidas comercializados para a cultura da soja (*G. max* L.) no estado de Mato Grosso” e o segundo “Compatibilidade da associação de *P. fluorescens* e *P. chlororaphis* com produtos fitossanitários sobre *E. heros* (Hemiptera: Pentatomidae)”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOST, L.; VELÁZQUEZ, G. A. Peri-urban pesticide contamination risk index. **Ecological Indicators**, v. 114, p. 106338, 2020. DOI: [10.1016/j.ecolind.2020.106338](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106338)
- AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: [<https://agrofit.agricultura.gov.br/>](https://agrofit.agricultura.gov.br/). Acesso em: 02 jun. 2023.
- ALISTER, C.; KOGAN, M. ERI: environmental risk index a simple proposal to select agrochemicals for agricultural use. **Crop Protection**, v. 25, p. 202–211, 2006. DOI: [10.1016/j.cropro.2005.04.006](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.04.006)
- ANDERSON, A. J.; KIM, J. C. Biopesticides produced by plant-probiotic *Pseudomonas chlororaphis* isolates. **Crop Protection**, v. 105, p. 62-69, 2018. DOI: [10.1016/j.cropro.2017.11.009](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.11.009)
- ARIAS, C. A. A. *et al.* Contribuição do melhoramento genético da soja para o manejo de doenças e pragas. In: MEYER, M. C. *et al.* (Eds.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília: Embrapa, 2022. p. 53-72.
- BOECKMAN, C. J. *et al.* Characterization of the Spectrum of Insecticidal Activity for IPD072Aa: A Protein Derived from *Pseudomonas chlororaphis* with Activity Against *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 112, n. 3, p. 1190-1196, 2019. DOI: [10.1093/jee/toz029](https://doi.org/10.1093/jee/toz029)
- BOUAGGA, A. *et al.* The Use of IRPeQModel as Indicator to Estimate the Risk of Some Pesticides on Human Health and Environment. **Tunisian Journal of Plant Protection**, v. 11, n. 1, p. 133-141, 2016.
- CASTELLANOS, N. L. *et al.* Imidacloprid resistance in the Neotropical brown stink bug *Euschistus heros*: selection and fitness costs. **Journal of Pest Science**, v. 92, p. 847-860, 2019. DOI: [10.1007/s10340-018-1048-z](https://doi.org/10.1007/s10340-018-1048-z)
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 02 jun. 2023.
- CORRÊA-FERREIRA, B. S. Suscetibilidade da soja a percevejos na fase anterior ao desenvolvimento das vagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 11, p. 1067-1072, 2005. DOI: [10.1590/S0100-204X2005001100003](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005001100003)
- DAMALAS, C. A.; ELEFTHEROHORINOS, I. G. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 8, n. 5, p. 1402-1419, 2011. DOI: [10.3390/ijerph8051402](https://doi.org/10.3390/ijerph8051402)
- DEVI, K. K.; KOTHAMASI, D. *Pseudomonas fluorescens* CHA0 can kill subterranean termite *Odontotermes obesus* by inhibiting cytochrome c oxidase of the termite respiratory chain. **FEMS microbiology letters**, v. 300, n. 2, p. 195-200, 2009. DOI: [10.1111/j.1574-6968.2009.01782.x](https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2009.01782.x)

DONLEY, N. The USA lags behind other agricultural nations in banning harmful pesticides. **Environmental Health**, v. 18, n. 1, p. 1-12, 2019. DOI: [10.1186/s12940-019-0488-0](https://doi.org/10.1186/s12940-019-0488-0)

DUGAN, S. T.; MUHAMMETOGLU, A.; USLU, A. A combined approach for the estimation of groundwater leaching potential and environmental impacts of pesticides for agricultural lands. **Science of The Total Environment**, v. 901, 2023. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2023.165892](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165892)

FERREIRA, S. B. *et al.* Danos causados por *Euschistus heros* (Fabr. 1974) em soja (*Glycine max*). **Global Science and Technology**, v. 11, n. 3, p. 1-9, 2018.

FLURY, P. *et al.* Antimicrobial and insecticidal: Cyclic lipopeptides and hydrogen cyanide produced by plant-beneficial *Pseudomonas strains* CHA0, CMR12a, and PCL1391 contribute to insect killing. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. 100, p. 1–15, 2017. DOI: [10.3389/fmicb.2017.00100](https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00100)

FLURY, P. *et al.* Insect pathogenicity in plant-beneficial pseudomonads: Phylogenetic distribution and comparative genomics. **ISME Journal**, v. 10, n. 10, p. 2527–2542, 2016. DOI: [10.1038/ismej.2016.5](https://doi.org/10.1038/ismej.2016.5)

GANESHAN, G.; KUMAR, M. *Pseudomonas fluorescens*, a potential bacterial antagonist to control plant diseases. **Journal of Plant Interactions**, v. 1, n. 3, p. 123-134, 2005. DOI: [10.1080/17429140600907043](https://doi.org/10.1080/17429140600907043)

GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 83-92, 2015. DOI: [10.1590/S0100-83582015000100010](https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000100010)

HANUMAN, L. N.; MADHAVI, G. B. Compatibility of *Pseudomonas fluorescens* with pesticides *in vitro*. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 7, n. 3, p. 3310-3315, 2018. DOI: [10.20546/ijcmas.2018.703.381](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.381)

HENDERSON, C. F.; TILTON, E. W. Tests with acaricides against the brown wheat mite. **Journal of Economic Entomology**, v. 48, p. 157-161, 1955. DOI: [10.1093/jee/48.2.157](https://doi.org/10.1093/jee/48.2.157)

IMEA. Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. **Custo de produção - soja**. Disponível em: <<https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado-detelhe?c=4&s=696277432068079616>>. Acesso em: 28 mai. 2023.

KANG, B. R.; ANDERSON, A. J.; KIM, Y. C. Hydrogen cyanide produced by *Pseudomonas chlororaphis* O6 is a key aphicidal metabolite. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 65, n. 3, p. 185-190, 2019. DOI: [10.1139/cjm-2018-0372](https://doi.org/10.1139/cjm-2018-0372)

KUPFERSCHMIED, P.; MAURHOFER, M.; KEEL, C. Promise for plant pest control: root-associated pseudomonads with insecticidal activities. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-17, 2013. DOI: [10.3389/fpls.2013.00287](https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00287)

KURHADE, K. C. *et al.* Detecting tolerance in *Pseudomonas fluorescens* to

pesticidas. **Agricultural Science Digest**, v. 3, n. 14, p. 247-249, 2016. DOI: [10.18805/asd.v0iof.11155](https://doi.org/10.18805/asd.v0iof.11155)

LEITE, J. C. *et al.* Cadeia Produtiva da Soja: Armazenamento e Logística. **Uniciências**, v. 26 n. 1, p. 31-36, 2022. DOI: [10.17921/1415-5141.2022v26n1p31-36](https://doi.org/10.17921/1415-5141.2022v26n1p31-36)

LEWIS, K. A. *et al.* An international database for pesticide risk assessments and management. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 22, n. 4, p. 1050-1064. DOI: [10.1080/10807039.2015.1133242](https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242)

LOUIS, V. *et al.* Compatibility of *Pseudomonas fluorescens* with Fungicides used in Banana Cultivation. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, v. 5, n. 3, p. 487-488, 2016.

MARTINS, M. *et al.* Suscetibilidade do percevejo *Euschistus heros* a extratos bacterianos. *In: Jornada Acadêmica da Embrapa Soja*, 11., 2016, Londrina. **Anais [...]** Londrina: Embrapa Soja, 2016. p. 89-95.

MONNERAT, R. G. *et al.* Controle de artrópodes-praga com bactérias entomopatogênicas. *In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Eds.) Controle Biológico de Pragas na Agricultura*. Brasília: Embrapa, 2020. p. 167-200.

NANDINI, M. L. N. *et al.* Compatibility of different insecticides USD in turmeric cultivation with combination of biocontrol agents under *in vitro* conditions. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 4, p. 1190-1194, 2018.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Agenda 2030**. Nova York: UNDP, 2015.

PANIZZI, A. R. Growing problems with stink bugs (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae): species invasive to the US and potential neotropical invaders. **American Entomologist**, v. 61, n. 4, p. 223-233, 2015. DOI: [10.1093/ae/tmv068](https://doi.org/10.1093/ae/tmv068)

PANIZZI, A. R.; BUENO, A. de F.; SILVA, F. A. C. da. Insetos que atacam vagens e grãos. *In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Ed.). Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga*. Brasília: Embrapa, 2012. p. 335-420.

PEIX, A. *et al.* Reclassification of *Pseudomonas aurantiaca* as a synonym of *Pseudomonas chlororaphis* and proposal of three subspecies, *P. chlororaphis* subsp. *chlororaphis* subsp. nov., *P. chlororaphis* subsp. *aureofaciens* subsp. nov., comb. nov. and *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* subsp. nov. comb. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 57, n. 6, p. 1286-1290, 2007. DOI: [10.1099/ijs.0.64621-0](https://doi.org/10.1099/ijs.0.64621-0)

RAMOS, G. S. **Capacidade de dispersão e parâmetros biológicos inerentes à criação massal de *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Platygasteridae) para o controle de pentatomídeos-praga em soja**. 2020. 122 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”,

Botucatu, 2020.

RIBEIRO, F. de. C. *et al.* Manejo com inseticidas visando o controle de percevejo marrom na soja intacta. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 2, p. 48-53, 2016. DOI: [10.32404/rean.v3i2.1132](https://doi.org/10.32404/rean.v3i2.1132)

ROGGIA, S. *et al.* **Eficiência de inseticidas no controle do percevejo-marrom (*Euschistus heros*) em soja, na safra 2018/2019: resultados sumarizados de ensaios cooperativos**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 154).

RUFFNER, B. *et al.* Evolutionary patchwork of an insecticidal toxin shared between plant-associated pseudomonads and the insect pathogens *Photorhabdus* and *Xenorhabdus*. **BMC Genomics**, v. 16, n. 1, p. 1-14, 2015. DOI: [10.1186/s12864-015-1763-2](https://doi.org/10.1186/s12864-015-1763-2)

RUFFNER, B. *et al.* Oral insecticidal activity of plant associated pseudomonads. **Environmental Microbiology**, v. 15, n. 3, p. 751–763, 2013. DOI: [10.1111/j.1462-2920.2012.02884.x](https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2012.02884.x)

SCHELLENBERGER, U. *et al.* A selective insecticidal protein from *Pseudomonas* for controlling corn rootworms. **Science**, v. 354, n. 6312, p. 634–637, 2016. DOI: [10.1126/science.aaf6056](https://doi.org/10.1126/science.aaf6056)

SINGH, M. *et al.* *In vitro* compatibility of *Pseudomonas fluorescens* with systemic weedicides. **The Pharma Innovation Journal**, v. 10, n. 3, p. 920-923, 2021. DOI: [10.22271/tpi.2021.v10.i3l.5900](https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i3l.5900)

SOMAVILLA, J. C. *et al.* Susceptibility of *Euschistus heros* and *Dichelops furcatus* (Hemiptera: Pentatomidae) to Selected Insecticides in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 2, p. 924–931, 2020. DOI: [10.1093/jee/toz340](https://doi.org/10.1093/jee/toz340)

SOSA-GÓMEZ, D. R. *et al.* Insecticide susceptibility of *Euschistus heros* (Heteroptera: Pentatomidae) in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 102, n. 3, p. 1209-1216, 2009. DOI: [10.1603/029.102.0346](https://doi.org/10.1603/029.102.0346)

SOSA-GÓMEZ, D. R. *et al.* **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. (Embrapa Soja. Documentos, 269).

SOSA-GÓMEZ, D. R.; OMOTO, C. Resistência a inseticidas e outros agentes de controle em artrópodes associados à cultura da soja. *In*: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Eds.). **Soja: Manejo Integrado de Insetos e outros Artrópodes-Praga**. Brasília: Embrapa, 2012. p. 675-723.

SOSA-GÓMEZ, D. R. *et al.* Prevalence, damage, management and insecticide resistance of stink bug populations (Hemiptera: Pentatomidae) in commodity crops. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 22, n. 2, p. 99-118, 2019. DOI: [10.1111/afe.12366](https://doi.org/10.1111/afe.12366)

TEOH, M.; FURUSAWA, G.; SINGHAM, G. V. Multifaceted interactions between the pseudomonads and insects: Mechanisms and prospects. **Archives of Microbiology**, v. 203, n. 5, p. 1891-1915, 2021. DOI: [10.1007/s00203-021-02230-9](https://doi.org/10.1007/s00203-021-02230-9)

VICTOR, V. S. *et al.* Tolerance of soybean genotypes to *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae). **Phytoparasitica**, v. 50, n. 5, p. 1011–1023, 2022. DOI: [10.1007/s12600-022-01024-z](https://doi.org/10.1007/s12600-022-01024-z)

ZAMBIAZZI, E. V. *et al.* Controle biológico *in-vitro* do percevejo-marrom (*Euschistus heros*) com *Beauveria bassiana*. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 3, p. 43-48, 2011. DOI: [10.0000/rtcab.v6i2.534](https://doi.org/10.0000/rtcab.v6i2.534)

ARTIGO 1

Estimativa do índice de risco ambiental de inseticidas comercializados para a cultura da soja (*Glycine max* L.) no estado de Mato Grosso

RESUMO

Mato Grosso é o estado com maior uso de agrotóxicos no Brasil. O Índice de Risco Ambiental (IRA) está entre as ferramentas utilizadas para estimar o impacto causado por esses produtos nos agroecossistemas. Este estudo teve como objetivo estimar o IRA de inseticidas utilizados no controle do percevejo-marrom na cultura da soja no MT. Os dados de comercialização foram coletados no Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso (INDEA-MT) e as propriedades físico-químicas dos inseticidas foram obtidas na *Pesticide Properties Database* (PPDB) da Universidade de Hertfordshire. Os resultados indicaram que foram comercializados 11.612.956 kg de ingredientes ativos (i.a.) em 2022 para o controle do percevejo-marrom, com destaque para o acefato (3.853.687 kg). Os neonicotinóides imidacloprido (IRA=12) e acetamiprido (IRA=11) apresentaram os maiores IRA, devido aos seus parâmetros de lixiviação e perfil toxicológico. Apesar de ser o mais vendido, o acefato apresentou o menor IRA, assim como o sulfoxaflor, com baixa persistência, lixiviação e volatilidade, mas ambos são moderadamente tóxicos para abelhas, aves e peixes. Com base nos resultados, os riscos ambientais associados ao uso de pesticidas podem ser mitigados selecionando os i.as. menos nocivos ao ambiente.

Palavras-chave: ecotoxicologia; ingredientes ativos; pulverização; parâmetros.

ABSTRACT

Mato Grosso is the state with the highest pesticide use in Brazil. The Environmental Risk Index (ERI) is among the tools used to estimate the impact caused by these products in agroecosystems. This study was aimed at estimating ERI of insecticides used in the control of brown stink bugs in soybean in MT. Sales data were collected from Agricultural Defense Institute of the state of Mato Grosso (INDEA-MT) and physicochemical properties of insecticides were obtained from the *Pesticide Properties Database* (PPDB) of the University of Hertfordshire. The results indicated that 11.612.956 kg of active ingredients (a.is.) were sold in 2022 for the control of the brown stink bug, especially acephate (3.853.687 kg). The neonicotinoids imidacloprid (ERI=12) and acetamiprid (ERI=11) had the highest ERIs, due to their leaching parameters and toxicological profile. Despite being the most sold a.is., acephate had the lowest ERI, as well as sulfoxaflor, with low persistence, leaching and volatility, but both are moderately toxic to bees, birds and fish. Based on the results, environmental risks associated with pesticide use can be mitigated by selecting less harmful a.is. to the environment.

Keywords: ecotoxicology; active ingredients; spraying; parameters.

1. INTRODUÇÃO

Mato Grosso (MT) é o maior estado produtor de soja (*Glycine max* L.) do Brasil, tendo produzido na safra 2022/23, 45.600.500 toneladas, com produtividade média de

3.773 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023). Apesar de sua importância socioeconômica, a soja é responsável pelo maior consumo de agrotóxicos em MT, sendo que no ano de 2022, foi comercializado um volume total de 83.550.978 kg, aplicados em uma área de 12.086.000 de hectares (ha) (CONAB, 2023; INDEA, 2023). Ademais, o MT também ocupa lugar de destaque no *ranking* nacional de uso de defensivos, representando, aproximadamente, 24,15% do total comercializado em 2022, para todas as culturas, em comparação com os demais estados (IBAMA, 2023).

Esse consumo elevado de defensivos está baseado nas características de condução da cultura, que incluem monocultivo extensivo, alto índice de mecanização e pulverizações no manejo de insetos-praga, plantas daninhas e doenças, os quais ocorrem no decorrer do seu ciclo (BELO et al., 2012; BUENO et al., 2022). Dentre os insetos-praga que incidem na soja, *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae), comumente denominado percevejo-marrom, é considerado praga-chave (PANIZZI, 2015), pois quando não controlado, ataca vagens e grãos, provocando perdas na produção (PANIZZI; BUENO; SILVA, 2012; SOSA-GÓMEZ et al., 2014).

Nessa perspectiva, os instrumentos de manejo frequentemente utilizados para *E. heros*, são os inseticidas químicos dos grupos dos neonicotinoides, piretroides, carbamatos e organofosforados (ZAMBIAZZI et al., 2011; RIBEIRO et al., 2016; ROGGIA et al., 2019). Apesar dos defensivos desempenharem um importante papel no que tange os problemas fitossanitários, se empregados de forma indevida, ocasionam efeitos nocivos em inimigos naturais da cultura (BUENO et al., 2012). Estudos já comprovaram que os ingredientes ativos (i.as.) cipermetrina, lambda-cialotrina e tiametoxam afetam, negativamente, o *Telenomus podisi* Ashmead, 1893 (Hymenoptera: Platygasteridae), importante parasitoide de ovos do percevejo-marrom (PAZINI et al., 2017). Para o *Trissolcus basal* Wollaston, 1858 (Hymenoptera: Platygasteridae), também inimigo natural de *E. heros*, constatou-se redução de 100% do parasitismo após pulverização dos i.as. imidacloprido+beta-ciflutrina, tiametoxam+lambda-cialotrina, acefato, deltametrina e fenitrotiona (ZANTEDESCHI et al., 2018).

Ao serem usados de maneira indiscriminada e por longos períodos, os agrotóxicos podem contaminar o ar, o solo e os mananciais superficiais e/ou subterrâneos, interferindo negativamente nos organismos aquáticos (ASSUNÇÃO; ABREU; SOUZA, 2020), além de exporem a sociedade aos riscos relacionados à ingestão de água contaminada (ALISTER; KOGAN, 2006) e intoxicações agudas, não

somente dos trabalhadores rurais, mas também da população urbana que reside próximo de áreas agrícolas (BELO et al., 2012). Dessa maneira, torna-se imprescindível compreender o risco ambiental dos defensivos empregados no manejo de insetos-praga, doenças e plantas daninhas, de modo a orientar, conscientemente, todo o setor agrícola, para que haja a preservação dos organismos não-alvo, do meio ambiente e a garantia da saúde humana (BELCHIOR et al., 2017; QUERINO et al., 2017).

No âmbito da saúde pública, vários são os casos graves relatados aos seres humanos (LOPES; ALBUQUERQUE, 2018), como doenças dermatológicas, problemas renais e cânceres (DUTRA SOUZA, 2017). Um exemplo extremamente crítico, nesse sentido, refere-se à detecção de resíduos de agrotóxicos no leite materno de mães residentes no município de Lucas do Rio Verde (MT), tendo sido constatada ainda que a exposição aos defensivos é de 136,35 litros/habitante, ou seja, cinco vezes maior que a média do estado e trinta e sete vezes maior que a média nacional (PALMA, 2011).

Perante tais problemáticas, estimar os potenciais riscos dos agrotóxicos no ambiente, através de parâmetros físico-químicos e ecotoxicológicos, pode auxiliar na mitigação de impactos negativos, os quais podem ser ponderados pelo índice de risco ambiental (IRA), que permite a utilização de indicadores disponíveis em literatura e banco de dados de inseticidas/fungicidas/herbicidas (DAMALAS; ELEFTHEROHORINOS, 2011). Para isso, são usadas inúmeras variáveis, que incluem persistência (DT_{50}), lixiviação, volatilidade, coeficiente octanol-água (K_{ow}), dose de referência (R_{fd}) e dose letal (DL_{50}) para organismos não-alvo (mamíferos, aves, animais aquáticos e insetos) (SCHAAF, 2015) os quais podem ser comparados de forma simples e classificados de acordo com o risco ambiental (SILVEIRA; ANTONIOSI FILHO, 2013; SCHAAF, 2015).

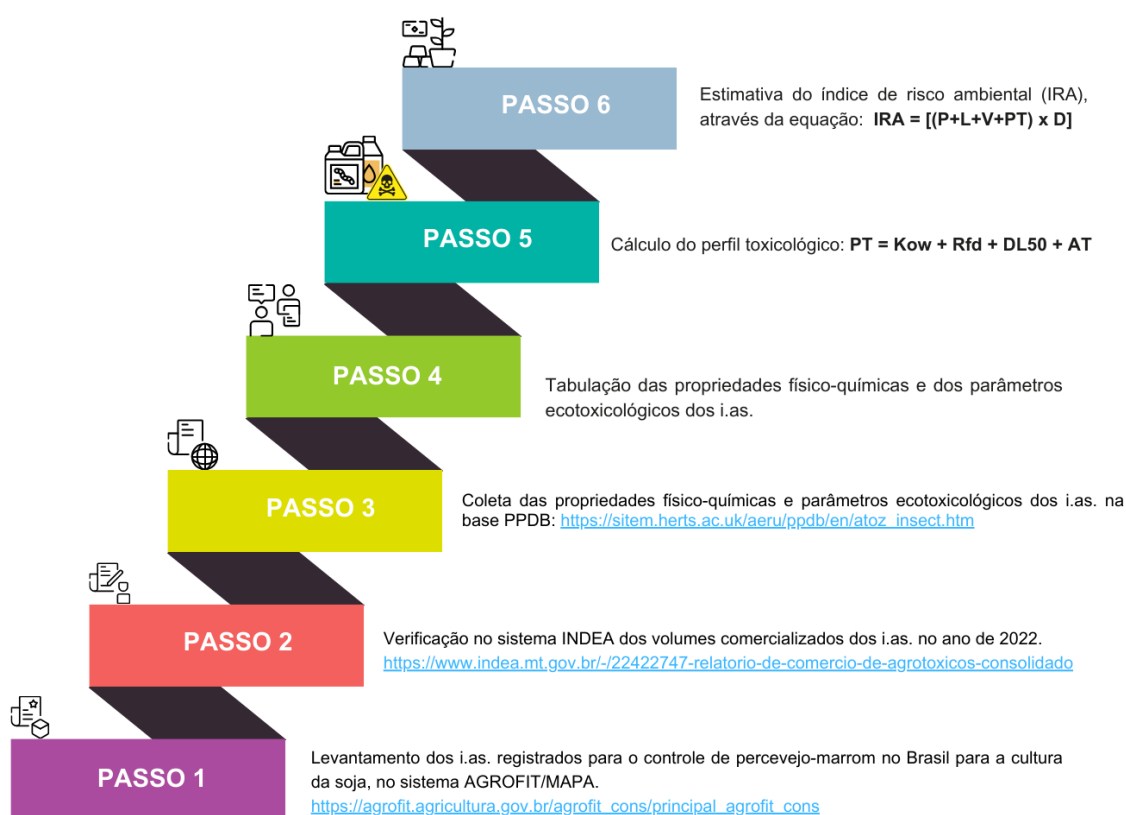
Portanto, conhecer e apontar os critérios mais adequados na elaboração de ferramentas de gestão de riscos resultantes da pulverização indevida de inseticidas com elevada toxicidade, são imprescindíveis para a conservação ambiental dos agroecossistemas. Isto posto, o presente artigo objetivou estimar o IRA dos principais i.as. utilizados no manejo químico de percevejo-marrom na produção de soja em MT, no ano de 2022.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta de dados

Inicialmente, foram levantadas as informações concernentes aos i.as. registrados no Brasil, para o manejo de percevejo-marrom na cultura da soja, através do sistema AGROFIT, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O volume comercializado, no ano de 2022, foi coletado junto ao Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso (INDEA-MT) (INDEA, 2023), enquanto, as características físico-químicas dos princípios ativos foram obtidas na base de dados *Pesticide Properties Database* (PPDB) da Universidade de Hertfordshire (LEWIS et al., 2016). A sequência de coleta dos dados para a construção do IRA é resumida na Figura 1.

Figura 1 - Sequência da coleta dos dados para estimar o IRA.

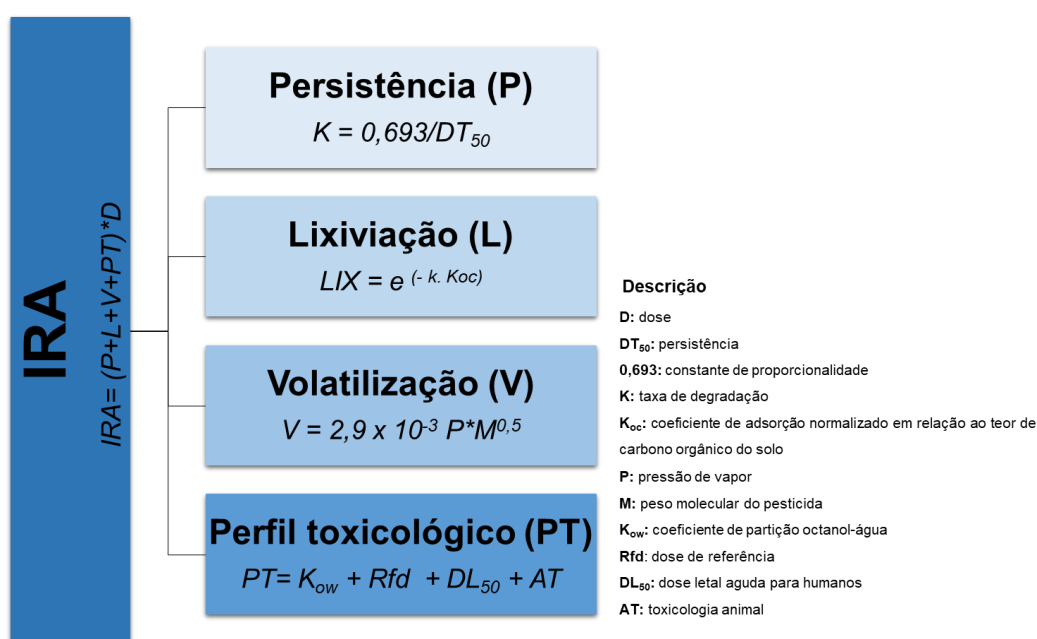


Fonte: Elaborada pela autora (2023).

2.2 Índice de risco ambiental (IRA)

Para estimar o risco ambiental dos princípios ativos (inseticidas) foram considerados os seguintes parâmetros: persistência no solo, lixiviação, volatilização, dose e perfil toxicológico. A partir dessas informações, foi estimado o IRA de cada inseticida, através das equações apresentadas na Figura 2 (ALISTER; KOGAN, 2006).

Figura 2 - Equações utilizadas para construção do IRA.



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

2.2.1 Persistência

A persistência de um agrotóxico no solo é caracterizada através de sua degradação média (DT₅₀), que se refere ao tempo necessário, em dias, para que 50% da concentração inicial do i.a. seja mineralizada (ALISTER; KOGAN, 2006).

2.2.2 Lixiviação

Na classificação do potencial de lixiviação dos inseticidas, foi empregado o índice LIX, proposto por Spadotto (2002) e que evidencia os compostos mais suscetíveis a contaminar águas subterrâneas. No LIX, o potencial de lixiviação é

limitado em máximo e mínimo, identificando os não lixiviáveis ($LIX=0$) e os lixiviáveis ($LIX \geq 0,1-1,0$).

2.2.3 Volatilização

A volatilização refere-se ao processo de transporte do pesticida para a atmosfera, devido à passagem das substâncias do estado líquido para o gasoso (SPADOTTO, 2002). A pressão de vapor (mmHg) dos pesticidas é o parâmetro usado para determinar a fração que será evaporada para a atmosfera e a que será depositada sobre a fase líquida e/ou sólida do solo (CHRISTOFFOLETI et al., 2009).

2.2.4 Dose

A dose de um agrotóxico representa a taxa de i.a. a ser aplicada em uma determinada área. Quanto maior o volume aplicado, maior será a carga química do pesticida no ambiente e, conseqüentemente, maior será o potencial de contaminação (ALISTER; KOGAN, 2006). É um critério que tem efeito multiplicador sobre os outros componentes do IRA. No cálculo do IRA, utilizou-se a dose máxima (kg i.a. ha^{-1}) recomendada pela bula comercial do inseticida para controle de percevejo-marrom na cultura da soja.

Tabela 1 - Grau de severidade, valores atribuídos e intervalos para cada termo do IRA.

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

Fonte: Alister; Kogan (2006).

2.2.5 Perfil toxicológico

Para cada termo do perfil toxicológico (PT), assim como para os demais parâmetros mencionados, foram atribuídos valores 1, 2, 3 ou 4, que representam os níveis baixo, médio, alto e muito alto, respectivamente (Tabela 2). O somatório do PT

apresenta valor mínimo de 6 e valor máximo de 24, enquanto que o (IRA) varia, teoricamente, de 4 a 64 (ALISTER; KOGAN, 2006).

Tabela 2 - Grau de severidade, valores atribuídos e intervalos para cada termo de PT.

Grau de severidade		Classificação dos intervalos					
Categoria	Valores atribuídos	K_{ow}^a Log K_{ow}	R_{fd}^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 octanol-água (K_{ow}); b. Dose referente (R_{fd}); c. Dose letal dérmica (DL_{50}); 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 (CL_{50}) para *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes: Salmonidae) e/ou *Lepomis macrochirus* (Perciformes: Centrarchidae). Fonte: Alister; Kogan (2006).

Dentre os parâmetros que contemplam o PT, encontra-se o coeficiente octanol-água (K_{ow}), que 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 (DUCHOWICZ, 2019). Assim, o octanol representa um substituto para o lipídio biótico e, portanto, dá uma aproximação ao coeficiente de partição lipídio biótico-água (CHESSELLS; HAWKER; CONNELL, 1991), permitindo quantificar o potencial impacto dos pesticidas quanto ao acúmulo nos ácidos graxos.

A dose referente (R_{fd}) é uma estimativa da quantidade de pesticida que pode ser ingerido em um período de 24 horas, sem que haja riscos à saúde (MOXON et al., 2020). Quanto menores são os valores de R_{fd} , mais riscos são gerados, diariamente, para uma população. Para a dose letal média (DL_{50}), o subscrito 50 significa que a dose é letal para 50% dos organismos administrados em condições controladas de laboratório (RAJ et al., 2013). No presente trabalho, utilizou-se a dose letal dérmica, a qual foi incluída na equação do PT.

Para as abelhas, a DL_{50} é expressa em mg/abelha, com a seleção do menor valor de toxicidade oral ou de contato para *Apis* spp. (Hymenoptera: Apidae). Em aves, a DL_{50} aguda é expressa em mg/kg de peso corporal, sendo os dados selecionados para a espécie *Anas platyrhynchos* (Anseriformes: Anatidae) que, quando não disponíveis, considerou-se os valores publicados para *Colinus virginianus* (Galliformes: Odontophoridae). Já, em peixes, a concentração letal (CL_{50}) é expressa em mg/L e a espécie utilizada foi *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes: Salmonidae);

quando não encontrados dados para a espécie supracitada, usou-se os especificados para *Lepomis macrochirus* (Perciformes: Centrarchidae) (RAJ et al., 2013).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estado de MT, em 2022, foram comercializados para o manejo de percevejo-praga na cultura da soja, o total de 23 i.as. distribuídos em 8 grupos químicos (Tabela 3). Organofosforado (6.016.968 kg), piretroide (1.842.160 kg), neonicotinoide (1.476.921 kg) e metilcarbamato de oxima (1.459.783 kg) foram os grupos químicos com os maiores montantes comercializados (Tabela 3). Os demais grupos, representados por metilcarbamato de benzofuranila (338.670 kg), fenilpirazol (272.862 kg), sulfoxaminas (106.520 kg) e antranilamida (99.072 kg) foram empregados em menores volumes, no ano supracitado.

Tabela 3 - Ingredientes ativos com seus respectivos grupos químicos, comercializados no estado de MT, no ano de 2022, para controle de percevejo-marrom na soja.

Ingrediente ativo	Grupo químico	Quantidade total comercializada (kg) ²	Classificação ambiental ³²
Acefato	Organofosforado	3.853.687	III
Metomil	Metilcarbamato de oxima	1.459.783	II
Clorpirifós	Organofosforado	1.249.009	II
Bifentrina	Piretroide	704.759	II
Imidacloprido	Neonicotinoide	646.401	III
Lambda-cialotrina	Piretroide	608.557	II
Fenitrotona	Organofosforado	553.225	II
Acetamiprido	Neonicotinoide	420.209	I
Tiametoxam	Neonicotinoide	361.139	III
Zeta-cipermetrina	Piretroide	352.391	II
Carbosulfano	Metilcarbamato de benzofuranila	338.670	I
Etiprole	Fenilpirazol	272.862	II
Malationa	Organofosforado	246.560	II
Profenofós	Organofosforado	114.487	II
Sulfoxaflor	Sulfoxaminas	106.520	I
Clorantraniliprole	Antranilamida	99.072	II
Cipermetrina	Piretroide	97.557	III
Dinotefuram	Neonicotinoide	49.110	II
Esfenvalerato	Piretroide	27.630	II
Alfa-cipermetrina	Piretroide	33.317	I
Beta-ciflutrina	Piretroide	17.639	II
Fenpropatrina	Piretroide	310	I
Tiacloprido	Neonicotinoide	62	II
TOTAL		11.612.956	

I) produto ALTAMENTE PERIGOSO ao meio ambiente. II) produto MUITO PERIGOSO ao meio

ambiente. III) produto PERIGOSO ao meio ambiente.

O uso de organofosforados, piretroides e neonicotinoides é frequente no controle de *E. heros* (ZAMBLIAZZI et al., 2011; RIBEIRO et al., 2016; ROGGIA et al., 2019), corroborando com as elevadas quantias visualizadas para a cultura da soja em 2022 e que têm favorecido a seleção de indivíduos resistentes.³³ Nesse cenário, já foram reportados baixos percentuais de eficácia aos piretroides lambda-cialotrina e bifentrina, ao neonicotinoide imidacloprido e ao organofosforado metamidofós, em populações de percevejo-marrom (SOSA-GÓMEZ; CORSO; MORALES, 2001; SOSA-GÓMEZ; SILVA, 2010; GUEDES, 2017; TUELHER et al., 2017; PITTA et al., 2018; CASTELLANOS et al., 2019; SOMAVILLA et al., 2019; SOMAVILLA et al., 2020).

Ao analisar os i.as. dos diferentes grupos, no que tange a classificação ambiental, constatou-se que, aproximadamente, 61% entraram na classe II (produto MUITO PERIGOSO ao meio ambiente), isto é, altamente prejudicial aos mamíferos, insetos benéficos e organismos aquáticos. Nessa classe, são incluídos os seguintes princípios: malationa, metomil, clorpirifós, bifentrina, fenitrotrona, lambda-cialotrina, zeta-cipermetrina, etiprole, profenofós, clorantraniliprole, dinotefuram, esfenvalerato, beta-ciflutrina e tiacloprido. Carbosulfano, acetamiprido, sulfoxaflor, alfa-cipermetrina e fenpropatrina foram incluídos ($\cong 22\%$) na classe I (produto ALTAMENTE PERIGOSO ao meio ambiente), enquanto, acefato, imidacloprido, tiametoxam e cipermetrina ($\cong 17\%$) foram inseridos na classe III (produto PERIGOSO ao meio ambiente).

Tal classificação segue a Instrução Normativa nº 84, de 15/10/1996 do IBAMA, a qual estabelece que antes do registro de um determinado agrotóxico, sejam conduzidos testes físico-químicos, ecotoxicológicos, de persistência, bioacumulação e de transporte no ambiente com os i.as., sendo que a partir do somatório do grau de severidade desses parâmetros, os defensivos, seus componentes e afins serão enquadrados em diferentes classes (IBAMA, 1996) como as citadas no parágrafo acima.

Dessa maneira, é possível identificar o risco de um agrotóxico em provocar impactos ambientais negativos como a contaminação de invertebrados, recursos hídricos e solo, sendo que produtos alocados nas classes I e II, sinalizam um alto nível de alerta pela periculosidade ao ambiente (GURGEL et al., 2021), pois devem ser aplicados e/ou manuseados, seguindo as recomendações dos fabricantes e órgãos

especializados (BRAIBANTE; ZAPPE, 2012).

Para compreender o comportamento de um agrotóxico no meio ambiente, é essencial analisar suas propriedades físico-químicas (FEITOSA et al., 2023), dessa forma, para calcular o IRA foram utilizadas as informações apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades físico-químicas usadas para calcular o IRA dos inseticidas.

Ingrediente ativo	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	3,0	302	0,231	1,70 x 10 ⁻⁶	0,75	0,000
Metomil	7,0	72	0,099	5,40 x 10 ⁻⁶	0,20	0,000
Clorpirifós	27,6	5509	0,025	1,07 x 10 ⁻⁵	0,72	0,000
Bifentrina	86,8	236610	0,008	1,33 x 10 ⁻⁷	0,03	0,000
Imidacloprido	174,0	0,0	0,003	4,0 x 10 ⁻⁷	0,10	1,000
Lambda-cialotrina	26,9	5509	0,025	1,50 x 10 ⁻⁸	0,02	0,000
Fenitrotiona	2,7	2000	0,256	5,40 x 10 ⁻⁵	0,75	1,000
Acetamiprido	3,0	200	0,231	1,0 x 10 ⁻³	0,10	1,000
Tiametoxam	39,0	56,2	0,017	6,60 x 10 ⁻⁶	0,02	0,371
Zeta-cipermetrina	10,0	22000	0,069	1,89 x 10 ⁻⁹	0,07	0,000
Carbossulfano	21,0	0,00	0,033	3,1 x 10 ⁻⁵	0,15	0,000
Etiprole	50,0	0,0	0,013	9,1 x 10 ⁻⁸	0,2	1,000
Malationa	1,0	1800	0,693	2,32 x 10 ⁻⁵	1,00	0,000
Profenofós	7,0	2016	0,099	1,89 x 10 ⁻⁵	0,72	0,000
Sulfoxaflor	3,5	40,8	0,195	1,4 x 10 ⁻⁶	0,03	0,000
Clorantraniliprole	204,0	362	0,003	4,72 x 10 ⁻¹⁴	0,02	0,338
Cipermetrina	21,9	307558	0,032	5,08 x 10 ⁻⁸	0,05	0,000
Dinotefuram	75,0	26	0,009	1,7 x 10 ⁻⁶	0,08	0,135
Esfenvalerato	19,2	251717	0,036	1,17 x 10 ⁻⁶	0,01	0,000
Alfa-cipermetrina	42,6	288735	0,016	2,85 x 10 ⁻⁹	0,07	0,000
Beta-ciflutrina	93,3	104491	0,007	2,10 x 10 ⁻¹⁰	0,01	0,000
Fenpropatrina	28,0	5000	0,025	5,48 x 10 ⁻⁶	0,10	1,000
Tiacloprido	8,1	0,0	0,787	3,00 x 10 ⁻⁷	0,15	0,000

a. Valores médios obtidos no PPDB da *University of Hertfordshire* e no PPD do Departamento de Agricultura dos EUA. 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 percevejo-praga. d. LIX calculado de acordo com a Equação (4) [$LIX = e^{(-k \cdot K_{oc})}$].

Na análise do parâmetro de persistência (DT₅₀), os inseticidas malationa, acefato, metomil, carbossulfano, clorpirifós, lambda-cialotrina, fenitrotiona, acetamiprido, zeta-cipermetrina, profenofós, cipermetrina, sulfoxaflor, esfenvalerato, fenpropatrina e tiacloprido evidenciaram as maiores taxas de degradação, não sendo persistentes no campo, posto que a DT₅₀ foi menor que 30 dias. Bifentrina, tiametoxam, etiprole, dinotefuram, alfa-cipermetrina e beta-ciflutrina foram considerados moderadamente persistentes (DT₅₀ > 30 e < 100 dias). Os menores índices de degradação foram visualizados para imidacloprido e clorantraniliprole, classificados

como persistentes no solo, com $DT_{50} > 100$ dias (Tabela 4).

Nesse viés, quanto maior for a DT_{50} dos i.as., mais lenta será a sua degradação (BONDAREVA; FEDOROVA, 2021), constituindo-se como uma das principais propriedades que prevêm o destino dos pesticidas nos solos (BOESTEN; VAN DER LINDEN, 1991; KAH; BEULKE; BROWN, 2007). De modo geral, i.as. com elevada solubilidade em água (S_w), baixa adsorção à matéria orgânica no solo (K_{oc}) e alta persistência (DT_{50}) atingem mais facilmente o lençol freático (REBELO; CALDAS, 2014). Compreender a degradação de um inseticida, é extremamente crucial para minimizar o efeito residual e, conseqüentemente, prováveis riscos ambientais, sendo que as características físico-químicas dos produtos fitossanitários, práticas de manejo e características do solo como textura, pH, matéria orgânica e atividade biológica, estão diretamente relacionadas com os processos degradativos (PAL et al., 2006). Porém, também limita os estudos de riscos ambientais, pois um defensivo químico pode levar à formação de subprodutos mais tóxicos e/ou mais persistentes no ambiente (EDWARDS, 1989; SALVIA et al., 2017).

Ao relacionar as taxas de degradação diária (K), observou-se que essas são inversamente proporcionais à DT_{50} , isto é, quanto maior a DT_{50} , menor será o K. Desse modo, as menores taxas diárias referiram-se aos inseticidas mais persistentes no solo como imidacloprido e clorantulaniliprole, seguido pelos i.as. moderadamente persistentes, bifentrina, tiametoxam, etiprole, dinotefuram, alfa-cipermetrina e beta-ciflutrina (Tabela 4).

Outro critério levantado para o IRA, foi o K_{oc} , também conhecido como coeficiente de partição normalizado para o teor de carbono orgânico (OLIVEIRA et al., 2011) e que indica a mobilidade de agrotóxicos não-iônicos no solo, bem como, a hidrofobicidade do i.a., de maneira, a estimar e/ou prever a movimentação e o comportamento em compostos orgânicos no ambiente (ALFONSO et al., 2017; ALISTER et al., 2020).

Nessa conjuntura, os princípios ativos carbo-sulfano, clorpirifós, bifentrina, imidacloprido, lambda-cialotrina, zeta-cipermetrina, etiprole, cipermetrina, alfa-cipermetrina, esfenvalerato, beta-ciflutrina, fenpropatrina e tiacloprido são classificados como não-móveis no solo (LEWIS et al., 2016). Metomil ($K_{oc}=72$), tiametoxam ($K_{oc}=56,2$), sulfoxaflor ($K_{oc}=40,8$) e dinotefuram ($K_{oc}=26$) são móveis, enquanto, acefato ($K_{oc}=302$), acetamiprido ($K_{oc}=200$) e clorantulaniliprole ($K_{oc}=362$) foram considerados moderadamente móveis. Na classe de pouca mobilidade, foram

inseridos os i.as. malationa ($K_{oc}=1800$), fenitrothion ($K_{oc}=2000$) e profenofós ($K_{oc}=2016$) (Tabela 5).

Os valores anteriormente citados indicam a tendência de um agrotóxico manter-se adsorvido na matéria orgânica no solo, dessa maneira, i.as. que apresentam K_{oc} alto, podem ser transportados por partículas de sedimento, ao invés de água, ou seja, pesticidas com valor de K_{oc} menor que 500, lixiviam, contaminando o ambiente (GUARDA et al., 2020). Entretanto, é um coeficiente que varia conforme o teor e tipo de matéria orgânica do solo e, as propriedades ácido-básicas do pesticida (LOUREIRO et al., 2021).

Em relação ao potencial de volatilização dos inseticidas, que é contabilizada por intermédio da pressão de vapor (P) (mmHg), verificou-se que essa variou entre 10^{-3} (acetamiprido) e 10^{-14} (clorantropiliprole) (Tabela 4), observando-se que quanto menor o valor, menor é a probabilidade dos i.as. precipitarem com as águas pluviais, atingindo mananciais e organismos aquáticos (ROUVALIS et al., 2009; MAHUGIJA; HENKELMANN; SCHRAMM, 2015). Trata-se de um parâmetro dependente de temperatura, por exemplo, que quando elevada interfere na pressão de vapor, favorecendo a passagem do produto da fase líquida para a gasosa (OLIVEIRA et al., 2011).

No que tange a dose aplicada por hectare, os i.as. malationa, acefato, fenitrothion, clorpirifós e profenofós apresentaram as maiores doses, com recomendações de 1,0; 0,750; 0,750; 0,720 e 0,720 kg i.a ha⁻¹, respectivamente (Tabela 4). Os demais inseticidas evidenciaram doses abaixo de 0,200 kg i.a ha⁻¹, destacando-se lambda-cialotrina com a menor dose recomendada para aplicação (0,0212 kg i.a ha⁻¹), apesar disso, o mesmo ocupa o sexto lugar no *ranking* de i.as. mais comercializados no controle de percevejo-marrom na soja, com volume total de 608.557,00 kg (Tabela 3).

Reconhecer as doses recomendadas para os i.as. é de extrema importância em estudos de comportamento ambiental de pesticidas, pois em muitas situações, o produtor rural faz uso de doses acima das sugeridas pelo fabricante ou fornecedor, acentuando a probabilidade de que ocorram efeitos gravíssimos no ambiente e em organismos, posto que, os detentores das moléculas executam inúmeros estudos ecotoxicológicos nas doses definidas em bula, antes de registrar o agrotóxico (DELLAMATRICE; MONTEIRO, 2014).

Outro importante parâmetro no cálculo do IRA é a lixiviação, calculada através

do índice LIX e que refere-se ao transporte vertical de um defensivo no perfil do solo, seja através de precipitação pluviométrica ou irrigação. No entanto, as condições edafoclimáticas, o manejo da cultura e as características da molécula química, podem interferir na translocação do produto no solo (MARIOT et al., 2009; SABATIER et al., 2014; BEDMAR et al., 2017). Em relação ao índice LIX, imidacloprido (1,000), fenitrotiona (1,000), acetamiprido (1,000), tiametoxam (0,371), etiprole (1,000), clorantiraniliprole (0,338), dinotefuram (0,135) e fenpropatrina (1,803) foram os princípios denotados com potencial de lixiviação e com capacidade de contaminar águas subterrâneas (GILSON et al., 2020). Os demais tiveram valores iguais ou muito próximo à zero, isto é, com baixo risco de lixiviar (Tabela 4).

Ao analisar de maneira conjunta, a solubilidade em água (S_w) (Tabela 5) e a mobilidade (K_{oc}) dos inseticidas, pode-se relacionar que quando os produtos fitossanitários apresentam alta solubilidade e baixa mobilidade, as moléculas têm maior probabilidade de se mover no perfil do solo, podendo contaminar o lençol freático (SABIK; JEANNOT; RONDEAU, 2000). Os i.as. acefato, metomil, imidacloprido, fenitrotiona, acetamiprido, tiametoxam, sulfoxaflor, dinotefuram e fenpropatrina apresentam alta solubilidade, enquanto, os demais, com exceção de malationa e tiacloprido (S_w moderada), evidenciam baixa S_w .

A ionização também é um fator importante quanto ao comportamento dos defensivos no agroecossistema, sendo baseada na força dos grupos funcionais ionizáveis que dependem do pH e estão presentes no sistema-solo, podendo os i.as. serem classificados em ácidos, básicos e não iônicos (SILVA et al., 2022). Clorantiraniliprole, dinotefuram e acefato foram considerados ácidos muito fracos, doando prótons e formando ânions em pH ácido (KAH; BROWN, 2006), podendo serem transportados livremente através da solução do solo (OLIVEIRA et al., 2011).

Os demais inseticidas foram classificados como não iônicos (Tabela 5), ou seja, eles não doam e nem recebem prótons, mantendo-se na sua forma molecular, pelo fato de serem lipofílicos, ou seja, terem afinidade pela fase polar (água) e apolar (1-octanol), os quais estão relacionados com o coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) (CHAPLAIN et al., 2011). À vista disso, os piretroides estão entre os i.as. mais lipofílicos em utilização, atualmente, nos sistemas agrícolas (KNAUER et al., 2017).

A distribuição de um pesticida no organismo humano, por exemplo, ocorre por intermédio da ligação da molécula química às células sanguíneas e lipídios em diferentes órgãos e tecidos, sendo que a intensidade dessa ligação é determinada

pela lipofilicidade do i.a., o qual contribui para elevar a eficácia dos pesticidas no controle de pragas e, conseqüentemente, a sua bioacumulação (WINKLER, 2004; ALI et al., 2016; CLARK, 2018).

Tabela 5 - Solubilidade em água (S_w) e ionização dos i.as.

Ingrediente ativo	S_w (mg L⁻¹)	Classificação da S_w*	pka	Ionização
Acefato	790000,00	Alta	8,35	Ácido fraco
Metomil	55000,00	Alta	-	Não iônico
Carbosulfano	0,11	Baixa	-	Não iônico
Clorpirifós	1,05	Baixa	-	Não iônico
Bifentrina	0,001	Baixa	-	Não iônico
Imidacloprido	610	Alta	-	Não iônico
Lambda-cialotrina	0,005	Baixa	-	Não iônico
Fenitrotona	19,00	Alta	-	Não iônico
Acetamiprido	2950,00	Alta	-	Não iônico
Tiametoxam	4100,00	Alta	-	Não iônico
Zeta-cipermetrina	0,039	Baixa	-	Não iônico
Carbosulfano	0,11	Baixa	-	Não iônico
Etiprole	-	-	-	Não iônico
Malationa	148	Moderada	-	Não iônico
Profenofós	28	Baixa	-	Não iônico
Sulfoxaflor	568	Alta	-	Não iônico
Clorrantraniliprole	0,88	Baixa	10,88	Ácido muito fraco
Cipermetrina	0,009	Baixa	-	Não iônico
Dinotefuram	39830	Alta	12,60	Ácido muito fraco
Esfenvalerato	0,001	Baixa	-	Não iônico
Alfa-cipermetrina	0,004	Baixa	-	Não iônico
Beta-ciflutrina	0,0019	Baixa	-	Não iônico
Fenpropatrina	0,33	Alta	-	Não iônico
Tiacloprido	184	Moderada	-	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 mg L⁻¹ = alta solubilidade.

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 ecotoxicologia animal (AT) (Tabela 6). A partir desse conjunto de informações foi possível construir o perfil toxicológico (PT) (Tabela 7), que será discutido adiante e usado para calcular o IRA.

A bioconcentração de um defensivo é avaliada por meio de estudo em peixes, estando condicionada aos dados de Log K_{ow} , solubilidade, hidrólise e biodegradabilidade imediata (CASTELLANOS et al., 2019). Fatores como K_{ow} e ecotoxicologia animal (ave, peixe e abelha) indicam qual o impacto dos inseticidas na fauna (Tabela 7). Já, a bioacumulação é regida pelo Log K_{ow} dos i.a., sendo que quando ≥ 3 , são

considerados fortemente hidrofóbicos (MERCADO-BORRAYO et al., 2015). Essa característica pode ser confirmada pela baixa solubilidade em água de carbosulfano, clorpirifós, bifentrina, lambda-cialotrina, cipermetrina, clorantraniliprole, alfa-cipermetrina, esfenvalerato e beta-ciflutrina (Tabela 5), os quais podem facilmente ser absorvidos pelos organismos terrestres e/ou aquáticos e até ficar bioconcentrados nas estruturas do solo (SABRA; MEHANA, 2015; DUCHOWICZ, 2019).

Tabela 6 - 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	Ecotoxicologia 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
Metomil	0,09	0,0025	2000	24,2	0,63	0,16
Clorpirifós	4,7	0,005	1250	39,2	0,025	0,059
Bifentrina	6,6	0,125	2000	1800	0,00026	0,016
Imidacloprido	0,57	0,08	5000	31	>83	0,081
Lambda-cialotrina	5,50	0,005	632	>3950	0,00021	0,038
Fenitrotona	3,32	0,013	890	2,3	1,3	0,16
Acetamiprido	0,80	0,025	2000	98	>100	8,09
Tiametoxam	-0,13	0,5	2000	576	>125	0,024
Zeta-cipermetrina	6,6	0,1255	2000	5124	0,00069	0,002
Carbosulfano	7,42	0,005	3700	10	0,015	0,18
Etiprole	1,99	0,25	2000	0,00	0,00	0,00
Malationa	2,75	0,3	2000	359	0,018	0,16
Profenofós	1,7	1,0	472	70	0,08	0,095
Sulfoxaflor	0,802	0,25	5000	676	>101	0,379
Clorantraniliprole	2,86	0,2	5000	2250	0,11	100
Cipermetrina	5,55	0,2	2000	9520	0,00151	0,023
Dinotefuram	-0,549	0,00	2000	>2000	>100	>0,023
Esfenvalerato	6,24	0,0175	5000	1312	0,0001	0,07
Alfa-cipermetrina	5,8	0,04	2000	2025	0,0018	0,033
Beta-ciflutrina	5,85	0,01	2000	170	0,000068	0,012
Fenpropatrina	6,04	0,03	870	1089	>0,0023	>0,05
Tiacloprido	1,26	0,02	2000	35	>90,1	38,82

Os i.as. carbosulfano, clorpirifós, fenitrotona e etiprole apresentaram os maiores valores no perfil toxicológico, indicando que são os mais tóxicos aos organismos vivos dentre os princípios ativos comercializados em MT (Tabela 7). De modo geral, o PT variou de 10 a 21 pontos (Tabela 8), sendo que 56,52% dos inseticidas apresentaram alta toxicidade, 26,09% médio potencial e 17,39% muito alta toxicidade.

Tabela 7 - 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	1	1	3	1	4	11
Metomil	1	3	2	4	4	4	18
Clorpirifós	4	3	2	4	4	4	21
Bifentrina	4	1	2	2	2	4	15
Imidacloprido	1	2	1	4	4	4	16
Lambda-cialotrina	4	3	2	2	4	4	19
Fenitrothiona	4	2	2	4	4	4	20
Acetamiprido	1	2	2	3	1	4	13
Tiametoxam	1	1	2	2	1	4	11
Zeta-cipermetrina	4	1	2	1	4	4	16
Carbosulfano	4	3	2	4	4	4	21
Etiprole	2	4	2	4	4	4	20
Malationa	3	1	2	3	4	4	16
Profenofós	2	1	2	3	4	4	16
Sulfoxaflor	1	1	1	2	1	4	10
Clorantiraniliprole	3	1	1	2	4	1	12
Cipermetrina	4	1	2	1	4	4	16
Dinotefuram	1	4	2	2	1	4	14
Esfenvalerato	4	2	1	2	4	4	16
Alfa-cipermetrina	4	2	2	2	4	4	18
Beta-ciflutrina	4	2	2	3	4	4	19
Fenpropatrina	4	2	2	2	4	4	18
Tiacloprido	2	2	2	4	3	3	16

*PT - calculado conforme a equação: $PT = K_{ow} + Rfd + DL_{50} + AT$. Os valores foram atribuídos de acordo com o grau de severidade (Tabela 2).

Também foram levantadas informações quanto ao sítio de ação dos inseticidas mais comercializados em MT, tendo sido observada que 100% atuam nos sistemas nervoso e muscular dos hemípteros (Quadro 1). Dentre os grupos que agem no sistema nervoso, podem-se enfatizar os inseticidas neonicotinoides e sulfoxaminas, que agem como agonistas nicotínicos da acetilcolina (ACh) (SMITH; DALE; BEUZELIN, 2022), prejudicando o processo de polarização/despolarização das membranas pós-sinápticas (JESCHKE; NAUEN, 2008), por isso, quando aplicados causam efeitos motores agudos como problemas de coordenação, tremores no corpo e nas pernas, hiperatividade e hiperresponsividade nos insetos (WEN; SCOTT, 1997; SUCHAIL et al., 2001).

Os carbamatos e organofosforados também agem nas vias do sistema nervoso, sendo classificados como inseticidas de amplo espectro, posto que permitem manejar insetos de diferentes ordens (SMITH; DALE; BEUZELIN, 2022). O modo de ação

desses é caracterizado pela inibição da enzima acetilcolinesterase (AChE) nos sistemas nervosos de vertebrados e de invertebrados (FOURNIER; MUTERO, 1994; JOKANOVIĆ, 2001). Essa enzima tem a função de catalisar a hidrólise da acetilcolina, interrompendo a transmissão dos impulsos nervosos nas sinapses dos neurônios dos sistemas nervosos central e periférico (GALLO; LAWRYK, 1990; CHAMBERS; CARR, 1995), assim, quando a AChE é inibida, ocorre a paralisia e, posterior, morte dos insetos (PADILHA; WILSON; BUSHNELL, 1994; KARCZMAR, 1998).

Outro grupo de amplo espectro de controle são os piretroides, sintetizados a partir das piretrinas, compostos inseticidas produzidos pela *Chrysanthemum cinerariifolium* (Asterales: Asteraceae) (SMITH; DALE; BEUZELIN, 2022). O principal sítio de ação dos piretróides acontece na bomba sódio e potássio (CASIDA; QUISTAD, 1998; BRADBERRY et al., 2005; SHAFER; MEYER; CROFTON, 2005), diminuindo o potencial de ação das células nervosas e musculares, provocando repetidas estimulações (NARAHASHI et al., 1998; POLLACK et al., 1999). Desse modo, em altas concentrações, a entrada de Na^+ impede a geração do potencial de ação, bloqueando a condução e paralisando os alvos dos inseticidas (AZNAR-ALEMANY; ELJARRAT, 2020).

A toxicidade dos fenilpirazóis aos insetos e mamíferos, por sua vez, está condicionada à sua ação nos receptores GABA (ácido gama-aminobutírico), agindo como bloqueadores não competitivos do canal de cloreto controlado pelo ácido (RAUH; LUMMIS; SATTELLE, 1990; POSTAL; JEANNIN; CONSALVI, 1995). Com isso, os i.as. desse grupo apresentam a capacidade de hiperexcitar o sistema nervoso central, levando os organismos a morte, pois há a inibição do relaxamento do neurônio após o impulso nervoso, bloqueando a passagem de íons de cloreto pelas membranas pós-sinápticas dessas células nervosas, assim, sem a inibição sináptica ocorre a hiperexcitação (COLE; NICHOLSON; CASIDA, 1993).

O clorantraniliprole, do grupo das antranilamidas, modula os receptores de rianodina, importantes na regulação de cálcio (Ca^{2+}) (SMITH; DALE; BEUZELIN, 2022), dessa maneira, ocasiona a liberação de Ca^{2+} do retículo sarcoplasmático para o citoplasma das células musculares, que impede a contração muscular e leva os insetos a morte, devido à paralisia na musculatura (CORDOVA et al., 2006).

Quadro 1 - Classificação do modo de ação dos inseticidas avaliados.

Grupo principal ou sítio de ação primário	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 Fenitrotriona
		Carbamatos	Carbosulfano Metomil
2. Bloqueadores de canais de cloro mediados pelo GABA	Bloqueiam os canais de cloro, obstruindo a passagens dos íons Cl ⁻ , impedindo que as células do axônio voltem a situação de repouso. O inseto morre pela passagem constante de impulso nervoso, resultando em hiperexcitação.	Fenilpirazol	Etiprole
4. Moduladores competitivos de receptores nicotínicos da acetilcolina	Agem como agonistas da acetilcolina, ligando-se constantemente à acetilcolinesterase. Assim, mantém a ativação duradoura da acetilcolina provocando hiperexcitabilidade do sistema nervoso central devido à transmissão contínua e descontrolada de impulsos nervosos. Ocorrem tremores, convulsões e, ocasionalmente, morte devido à ausência de oxigênio no cérebro.	Neonicotinoides	Acetamiprido Dinotefuram Imidacloprido Tiacloprido Tiametoxam
		Sulfoxaminas	Sulfoxaflor
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 Zeta-cipermetrina Cipermetrina Esfenvalerato Fenpropatrina
28. Moduladores de receptores de rianodina	Ativa os receptores musculares de rianodina, levando à contração e paralisia.	Antranilamida	Clorantraniliprole

* O esquema de cores associa o modo de ação com base nas funções fisiológicas afetadas no alvo.
Azul: atua no sistema nervoso e muscular (IRAC, 2023).

Após analisar os parâmetros inerentes aos princípios ativos (ex. persistência,

lixiviação, volatilização e dose) e a ecotoxicologia animal (ex. perfil toxicológico), foi calculado o IRA. A Tabela 8 apresenta o IRA dos 23 i.as., classificados do valor mais alto (12) ao mais baixo (5). Teoricamente, esse índice pode ter valor mínimo de 4 e máximo de 64 (ALISTER; KOGAN, 2006). Portanto, todos os inseticidas encaixam-se na classe de baixo risco dentro da metodologia utilizada, porém esses dados são estimados (SÁNCHEZ-BAYO; TENNEKES, 2015), devendo ser avaliados adequadamente às condições edafoclimáticas do MT.

Tabela 8 - Índice de Risco Ambiental (IRA)* dos i.as., em ordem decrescente.

Grupo químico	Ingrediente ativo	P	L	V	PT	D	IRA*
NEON ⁴	Imidacloprido	4	4	1	3	1	12
NEON ⁴	Acetamiprido	1	4	4	2	1	11
FENI ³	Etiprole	2	4	1	4	1	11
ANTR ⁷	Clorantraniliprole	4	3	1	2	1	10
ORGA ¹	Fenitrotiona	1	4	1	4	1	10
PIRE ⁶	Beta-ciflutrina	4	1	1	3	1	9
PIRE ⁶	Fenpropatrina	1	4	1	3	1	9
PIRE ⁶	Alfa-cipermetrina	2	2	1	3	1	8
PIRE ⁶	Bifentrina	3	1	1	3	1	8
CARB ²	Carbosulfano	1	1	2	4	1	8
ORGA ¹	Clorpirifós	1	1	2	4	1	8
NEON ⁴	Dinotefuram	3	2	1	2	1	8
NEON ⁴	Tiametoxam	2	3	1	2	1	8
ORGA ¹	Malationa	1	1	2	3	1	7
ORGA ¹	Profenofós	1	1	2	3	1	7
PIRE ⁶	Cipermetrina	1	1	1	3	1	6
PIRE ⁶	Esfenvalerato	1	1	1	3	1	6
PIRE ⁶	Lambda-cialotrina	1	1	1	3	1	6
CARB ²	Metomil	1	1	1	3	1	6
NEON ⁴	Tiacloprido	1	1	1	3	1	6
PIRE ⁶	Zeta-cipermetrina	1	1	1	3	1	6
ORGA ¹	Acefato	1	1	1	2	1	5
SULF ⁵	Sulfoxaflor	1	1	1	2	1	5

P (persistência); L (lixiviação); V (volatilidade); PT (perfil toxicológico); D (dose). *IRA – calculado conforme a equação: $IRA = [(P+L+V+PT) \times D]$. Os valores foram baseados nas propriedades físico-químicas (Tabela 04) e no perfil toxicológico (Tabela 05). Grupo químico: ¹ Organofosforado, ² Carbamato, ³ Fenilpirazol, ⁴ Neonicotinoide, ⁵ Sulfoxaminas, ⁶ Piretroide, ⁷ Antranilamida.

Os maiores valores de IRA foram constatados para os neonicotinoides imidacloprido (IRA=12) e acetamiprido (IRA=11) (Tabela 8). As propriedades que mais interferiram para o resultado de imidacloprido foram a persistência, lixiviação e ecotoxicologia animal, consideradas altas, conforme o grau de severidade. No caso do acetamiprido, o IRA teve influência dos índices de lixiviação e volatilização (Tabelas

4 e 6). Os demais neonicotinoides, dinotefuram, tiametoxam e tiacloprido apresentaram IRA de 8, 8 e 6, respectivamente.

Considerando a ecotoxicologia animal dos neonicotinoides, estudos conduzidos por Raymann et al. (2018) e Ma et al. (2021) já demonstraram que a pulverização de imidacloprido reduz, de modo significativo, colônias de abelhas. Ademais, trata-se de um i.a. considerado causador de contaminação de águas subterrâneas (ISMAEL; ROCHA, 2019), devido à sua elevada DT_{50} (174 dias) e alto índice LIX (1,000) (Tabela 5). O acetamiprido, por sua vez, representa um risco ao meio ambiente, por não ser sorvido fortemente à fase sólida do solo e ser móvel, sobretudo, em condições de baixos teores de matéria orgânica (MO) e baixas taxas de mineralização, que implicam em alta persistência e mobilidade em solos arenosos (POTTS et al., 2022), o que pode complementar o resultado do IRA.

O fenilpirazol (etiprole) apresentou IRA=11, sendo que os principais parâmetros que favoreceram tal resultado foram a lixiviação e o perfil toxicológico. No caso do alto PT para etiprole, isso ocorreu, pelo fato, do i.a. apresentar elevada ecotoxicologia animal, podendo influenciar o forrageamento e a polinização de abelhas africanizadas, dado observado por Sharma; Abrol (2014) de alta atividade residual em flores, 24h após a aplicação.

Devido às variáveis lixiviação e perfil toxicológico, a antranilamida clorantraniliprole apresentou IRA=10 (Tabela 8). Em altas concentrações, o clorantraniliprole causa efeitos deletérios no ambiente, principalmente, ao atingir corpos de água, comprometendo toda a cadeia trófica (SATYAVANI et al., 2012; RODRIGUES et al., 2003), o caracterizando como persistente em ambientes aquáticos (DHAWAN et al., 2009), além de ser móvel no solo (SHARMA et al., 2014). Além disso, evidencia alta capacidade de lixiviar e escoar superficialmente, representando uma ameaça ao ambiente, por entrar em vários compartimentos, incluindo águas subterrâneas (PANDEY et al., 2020).

Dentro do grupo dos organofosforados, o maior IRA foi notado para fenitrotiona (IRA=10), seguido pelos i.as. clorpirifós (IRA=8), malationa (IRA=7), profenofós (IRA=7) e acefato (IRA=5). Os níveis baixos e altos de PT visualizados para esses princípios ativos, ocorre em decorrência da elevada ecotoxicologia animal dos organofosforados, os quais podem ser absorvidos pelo organismo humano, podendo os seus produtos biotransformados, distribuir-se por todos os tecidos do corpo (LOPES; ALBUQUERQUE, 2018), sendo que em baixas concentrações podem

causar depressão, tremores, lesões musculares nos olhos, febre, zumbidos, entre outros sintomas (DUTRA; SOUZA, 2017).

A fenitrothion tem o potencial de ocasionar efeitos negativos a diversos organismos não-alvos, por exemplo, em ambientes de água doce reduz, significativamente, a taxa espermática ($p < 0,05$) dos peixes tambaqui *Colossoma macropomum* (Characiformes: Serrasalminidae), agindo diretamente na reprodução e renovação de estoque dessa espécie nos rios (SANTOS et al., 2023). Outro i.a. que interfere em vertebrados aquáticos, é a malathion, classificada como altamente tóxica aos peixes, por causar distúrbios graves no metabolismo, na fisiologia neural e histologia, sendo, ainda, genotóxica a mexilhões e peixes de água doce (PATIL; DAVID, 2009; ULLAH et al., 2018).

Profenofós também está entre os principais poluentes tóxicos de água doce, ao promover alterações histopatológicas no fígado, rins e músculos, além de anemia hipocrômica microcítica extrema em *Ctenopharyngodon idella* (Cypriniformes: Cyprinidae), sendo constatada redução significativa nas concentrações de proteína total, albumina e globulina nessa espécie de peixe (EL-BOUHY et al., 2023).

Apesar do acefato ter evidenciado o menor IRA, ele foi o i.a. mais comercializado em MT para o manejo de percevejo-marrom (3.853.687 kg) (Tabela 3), sendo sua ecotoxicologia classificada como mediana. No entanto, a degradação deste inseticida sintetiza um metabólito altamente tóxico, o metamidofós, anteriormente aplicado como um inseticida organofosforado (WANG et al., 2013; LIN et al., 2020). Atualmente, o metamidofós é proibido no Brasil, em decorrência da sua reavaliação toxicológica pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (ANVISA, 2011).

Todavia, o metamidofós continua sendo lançado no ambiente, através dos processos degradativos do acefato, o qual por apresentar baixa DT_{50} , facilita a reação por desacetilação, originando o composto químico O,S-dimetil-N-fosforamidato (metamidofós) (YEN; LIN; WANG, 2000). Seus efeitos à saúde humana dependem da frequência de exposição ao qual ela ocorre, sendo que o metamidofós composto pode concentrar-se, principalmente, no fígado e em órgãos vitais do sistema nervoso (RÊGO, 2020).

Os piretroides beta-ciflutrina (IRA=9), fenpropatrina (IRA=9), alfa-cipermetrina (IRA=8), bifentrina (IRA=8), cipermetrina (IRA=6), esfenvalerato (IRA=6), lambda-cialotrina (IRA=6) e zeta-cipermetrina (IRA=6) apresentaram notas de risco ambiental

variando de 6 a 9, especialmente, pelo alto perfil toxicológico (Tabela 3). Essa situação ocorreu devido à alta toxicidade dos piretroides aos peixes, com os i.as. entrando em contato com o ambiente aquático, pelo processo de escoamento superficial (ULLAH et al., 2015).

Dentre os efeitos tóxicos em peixes, destacam-se o estresse oxidativo, atraso no desenvolvimento, alterações bioquímicas, hematológicas e histopatológicas no cérebro, fígado e brânquias, assim como disrupção reprodutiva ou endócrina (ULLAH et al., 2019). Também ocorrem impactos adversos de piretroides em abelhas, caso da bifentrina que causa mortalidade (100%) de abelhas *Melipona subnitida* e *M. scutellaris*, no intervalo de duas a nove horas após contato com esse i.a (ARAÚJO, 2019).

Carbosulfano e metomil, do grupo dos carbamatos, obtiveram IRA=8 e IRA=6, respectivamente, em razão da severidade do PT. É sabido que carbamatos exercem efeitos tóxicos em animais ao inibirem a atividade da acetilcolinesterase (AChE) e da carboxilesterase (CbE), além de poderem atingir os ambientes aquáticos afetando girinos de anuros (ABEL et al., 2020). Os organismos não-alvos também são afetados, alterando não somente a fisiologia desses, mas também os níveis de organização biológica como populações e comunidades (MURRAY; THOMAS; BODOUR, 2010).

O sulfoxaflor, único representante do grupo das sulfoxaminas, evidenciou o menor IRA (IRA=5), em virtude do seu médio PT, que pode ser explicado pela sua ecotoxicologia animal, já tendo sido comprovado que esse i.a. aumenta a mortalidade de pupas e causa deformações das asas em *Apis mellifera* recém-emergidas (KIM et al., 2022), sendo que em doses subletais (26 ng/abelha) afetam negativamente a capacidade de retorno das abelhas. Essa toxicidade pode estar relacionada com os mecanismos de desintoxicação das abelhas, que são mais eficazes em neonicotinoides à base de cianoides (acetamiprido, por exemplo) do que as sulfoxaminas (CAPELA et al., 2022).

Diante das informações levantadas, verifica-se a essencialidade das propriedades físico-químicas como ferramenta na estimativa dos potenciais riscos dos inseticidas pulverizados e/ou comercializados em todo o estado de MT. Serve, ainda, como um alerta quanto à escassez de dados relacionados com a persistência, lixiviação, volatilização e perfil toxicológico dos agrotóxicos, em regiões de clima tropical. Logo, é urgente no país, a elaboração de um banco de dados, que contemple os diversos parâmetros do IRA nas nossas condições edafoclimáticas e de manejo

empregado nas lavouras.

4. CONCLUSÃO

Ante os resultados, conclui-se que estimar o IRA de i.as. usados no manejo de percevejo-praga é crucial para mitigar os riscos das pulverizações realizadas nos sistemas agrícolas do estado de MT, através da aplicabilidade de parâmetros relacionados a toxicidade animal (abelhas, aves e peixes) e ambiental (persistência, volatilização e lixiviação) dos agrotóxicos na recomendação segura e assertiva do setor agrônomo. Portanto, espera-se que os dados aqui levantados sirvam para a seleção racional dos inseticidas menos agressivos a toda cadeia trófica do agroecossistema, além de um alerta quanto à necessidade de novos estudos direcionados a compreender o impacto que advém das propriedades físico-químicas dos pesticidas pulverizados em regiões agrícolas tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, G. *et al.* Influência da temperatura nos efeitos do inseticida carbaril em girinos de rã touro (*Lithobates catesbeianus*). **Revinter**, v. 13, n. 3, p. 52-62, 2020. DOI: [10.22280/revintervol13ed3.477](https://doi.org/10.22280/revintervol13ed3.477)

AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/>. Acesso em: 02 jul. 2023.

ALFONSO, L. F. *et al.* Adsorption of organophosphorus pesticides in tropical soils: The case of karst landscape of northwestern Yucatan. **Chemosphere**, v. 166, s/n, p. 292-299, 2017. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2016.09.109](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.109)

ALI, N. *et al.* Organohalogenated contaminants in type 2 diabetic serum from Jeddah, Saudi Arabia. **Environmental Pollution**, v. 213, s/n, p. 206-212, 2016. DOI: [10.1016/j.envpol.2016.01.087](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.087)

ALISTER, C. *et al.* Humic substances and their relation to pesticide sorption in eight volcanic soils. **Planta Daninha**, v. 38, p. e020171636, 2020. DOI: [10.1590/S0100-83582020380100021](https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100021)

ALISTER, C.; KOGAN, M. ERI: Environmental risk index. A simple proposal to select agrochemicals for agricultural use. **Crop Protection**, v. 25, n. 3, p. 202-211, 2006. DOI: [10.1016/j.cropro.2005.04.006](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.04.006)

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - **RDC nº 1**, de 14 de janeiro de 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt->

[br](#)>. Acesso em: 04 jun. 2023.

ARAÚJO, W. L. de. **Toxicidade de inseticidas sobre abelhas sem ferrão**. 2019. 73 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2019.

ASSUNÇÃO, A. A.; ABREU, M. N. S.; SOUZA, P. S. N. Factors associated with self-reported exposure to chemical substances at work in Brazil: results from the National Health Survey, 2013. **Revista de Saúde Pública**, v. 54, n. 92, p. 1-13, 2020. DOI: [10.11606/s1518-8787.2020054001461](https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2020054001461)

AZNAR-ALEMANY, Ò.; ELJARRAT, E. Introduction to Pyrethroid Insecticides: Chemical Structures, Properties, Mode of Action and Use. *In*: ELJARRAT, E. (Ed). **Pyrethroid Insecticides**. Barcelona: Springer Cham, 2020. p. 1-16.

BEDMAR, F. *et al.* Persistence of acetochlor, atrazine, and s-metolachlor in surface and subsurface horizons of 2 typic argiudolls under no-tillage. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 36, n. 11, p. 3065-3073, 2017. DOI: [10.1002/etc.3874](https://doi.org/10.1002/etc.3874)

BELCHIOR, D. C. V. *et al.* Impactos de agrotóxicos sobre o meio ambiente e a saúde humana. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 34, n. 1, p. 135-151, 2017. DOI: [10.35977/0104-1096.cct2017.v34.26296](https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2017.v34.26296)

BELO, M. S. da. S. P. *et al.* Uso de agrotóxicos na produção de soja do Estado do Mato Grosso: um estudo preliminar de riscos ocupacionais e ambientais. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 37, n. 135, p. 78-88, 2012. DOI: [10.1590/S0303-76572012000100011](https://doi.org/10.1590/S0303-76572012000100011)

BOESTEN, J. J. T. I.; VAN DER LINDEN, A. M. A. Modeling the Influence of Sorption and Transformation on Pesticide Leaching and Persistence. **Journal of Environment Quality**, v. 20, n. 2, p. 425-435, 1991. DOI: [10.2134/jeq1991.00472425002000020015x](https://doi.org/10.2134/jeq1991.00472425002000020015x)

BONDAREVA, L.; FEDOROVA, N. Pesticides: Behavior in Agricultural Soil and Plants. **Molecules**, v. 26, n. 17, p. 5370, 2021. DOI: [10.3390/molecules26175370](https://doi.org/10.3390/molecules26175370)

BRADBERRY, S. M. *et al.* Poisoning due to Pyrethroids. *Toxicological Reviews*, v. 24, n. 2, p. 93-106, 2005. DOI: [10.2165/00139709-200524020-00003](https://doi.org/10.2165/00139709-200524020-00003)

BRAIBANTE, E. F.; ZAPPE, J. A. A Química dos Agrotóxicos. **Química Nona na Escola**, v. 34, n. 1, p. 10-15, 2012.

BUENO, A. de. F. *et al.* Compatibilidade no uso de bioinsumos e insumos sintéticos no manejo da cultura da soja. *In*: MEYER, M. C. *et al.* (Eds.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília: Embrapa, 2022. p. 473-492.

BUENO, A. de. F. *et al.* Inimigos naturais das pragas da soja. *In*: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Eds.). **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Brasília: Embrapa, 2012. p. 493-629.

CAPELA, N. *et al.* Sub-lethal doses of sulfoxaflor impair honey bee homing ability. **Science of The Total Environment**, v. 837, s/n, p. 155710, 2022. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.155710](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155710)

CASIDA, J. E.; QUISTAD, G. B. Golden age of insecticide research: past, present, or Future?. **Annual Review of Entomology**, v. 43, n. 1, p. 1-16, 1998. DOI: [10.1146/annurev.ento.43.1.1](https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.1)

CASTELLANOS, N. L. *et al.* Imidacloprid resistance in the Neotropical brown stink bug *Euschistus heros*: selection and fitness costs. **Journal of Pest Science**, v. 92, s/n, p. 847-860, 2019. DOI: [10.1007/s10340-018-1048-z](https://doi.org/10.1007/s10340-018-1048-z)

CHAMBERS, J. E.; CARR, R. L. Biochemical mechanisms contributing to species differences in insecticidal toxicity. **Toxicology**, v. 105, n. 2-3, p. 291-304, 1995. DOI: [10.1016/0300-483X\(95\)03225-5](https://doi.org/10.1016/0300-483X(95)03225-5)

CHAPLAIN, V. *et al.* Fate of Pesticides in Soils: Toward an Integrated Approach of Influential Factors. *In*: STOYTICHEVA, M. (Ed). **Pesticides in the Modern World: Trends in Pesticides Analysis**. Croatia: IntechOpen, 2011. p. 535-560. DOI: [10.5772/17035](https://doi.org/10.5772/17035)

CHESSELLS, M.; HAWKER, D. W.; CONNELL, D. W. **Chemosphere**, v. 22, n. 12, p. 1175-1190, 1991. DOI: [10.1016/0045-6535\(91\)90213-W](https://doi.org/10.1016/0045-6535(91)90213-W)

CHRISTOFFOLETI, P. J. *et al.* Interação dos fatores ambientais com os herbicidas aplicados ao solo e as consequências agrônômicas. *In*: CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. (Orgs.). **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: BASF, 2008. p. 37-71.

CLARK, R. D. Predicting mammalian metabolism and toxicity of pesticides in silico. **Pest Management Science**, v. 74, n. 9, p. 1992-2003, 2018. DOI: [10.1002/ps.4935](https://doi.org/10.1002/ps.4935)

COLE, L. M.; NICHOLSON, R. A.; CASIDA, J. E. Action of phenylpyrazole insecticides at the GABA-gated chloride channel. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 46, n. 1, p. 47-54, 1993. DOI: [10.1006/pest.1993.1035](https://doi.org/10.1006/pest.1993.1035)

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 02 jul. 2023.

CORDOVA, D. *et al.* Anthranilic diamides: A new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 84, n. 3, p. 196-214, 2006. DOI: [10.1016/j.pestbp.2005.07.005](https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2005.07.005)

DAMALAS, C. A.; ELEFTHEROHORINOS, I. G. Pesticide Exposure, Safety Issues, and Risk Assessment Indicators. **International Journal of Environmental Research Public Health**, v. 8, n. 5, p.1402-1419, 2011. DOI: [10.3390/ijerph8051402](https://doi.org/10.3390/ijerph8051402)

DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R. T. R. Principais aspectos da poluição de

rios brasileiros por pesticidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1296-1301, 2014. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1296-1301](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1296-1301)

DHAWAN, A. K. *et al.* Persistence and residual toxicity of some insecticides against *Phenacoccus solenopsis* on cotton (*Gossypium* spp). **The Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 79, n. 3, p. 203-206, 2009.

DUCHOWICZ, P. R. QSPR studies on water solubility, octanol-water partition coefficient and vapour pressure of pesticides. **SAR and QSAR in Environmental Research**, v. 31, n. 2, p. 135-148, 2019. DOI: [10.1080/1062936X.2019.1699602](https://doi.org/10.1080/1062936X.2019.1699602)

DUTRA, R. M. S.; SOUZA, M. M. O. Impactos negativos do uso de agrotóxicos à saúde humana. **Hygeia**, v. 13, n. 24, p. 127-140, 2017. DOI: [10.14393/Hygeia1334540](https://doi.org/10.14393/Hygeia1334540)

EDWARDS, C. A. Impact of herbicides on soil ecosystems. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 8, n. 3, p. 221-257, 1989. DOI: [10.1080/07352688909382276](https://doi.org/10.1080/07352688909382276)

EL-BOUHY, Z. M. *et al.* Toxicity bioassay and sub-lethal effects of profenofos-based insecticide on behavior, biochemical, hematological, and histopathological responses in Grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). **Ecotoxicology**, v. 32, n. 2, p. 196-210, 2023. DOI: [10.1007/s10646-023-02628-9](https://doi.org/10.1007/s10646-023-02628-9)

FEITOSA, I. R. dos. *et al.* Ocorrência de pesticidas em solos argilosos e arenosos após aplicação em pastagens e cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 46, n. 5, p. 414-424, 2023. DOI: [10.21577/0100-4042.20230025](https://doi.org/10.21577/0100-4042.20230025)

FOURNIER, D. E.; MUTERO, A. Modification of acetylcholinesterase as a mechanism of resistance to insecticides. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology**, v. 108, n. 1, p. 19-31, 1994. DOI: [10.1016/1367-8280\(94\)90084-1](https://doi.org/10.1016/1367-8280(94)90084-1)

GALLO, M. A.; LAWRYK, N. J. Organic Phosphorus Pesticides. *In*: HAYES JUNIOR, W. J.; LAWS JUNIOR, E. R. (Eds). **The Handbook of Pesticide Toxicology**. San Diego: Academic Press, 1990. p. 920.

GILSON, I. K. *et al.* Predição teórica da contaminação por agrotóxicos nos recursos hídricos de Realeza, Paraná. **Biodiversidade**, v. 19, n. 2, p. 143-155, 2020.

GUARDA, P. M. *et al.* Avaliação da contaminação por pesticidas nos sedimentos do rio formoso no estado do Tocantins. **Revista Desafios**, v. 7, p. 123-135, 2020. DOI: [10.20873/uftsupl2020-8732](https://doi.org/10.20873/uftsupl2020-8732)

GUEDES, R. N. C. Insecticide Resistance, Control Failure Likelihood and the First Law of Geography. **Pest Management Science**, v. 73, n. 3, p. 479-484, 2017. DOI: [10.1002/ps.4452](https://doi.org/10.1002/ps.4452)

GURGEL, A. M.; GUEDES, C. A.; FRIEDRICH, K. Flexibilização da regulação de agrotóxicos enquanto oportunidade para a (necro)política brasileira: avanços do

agronegócio e retrocessos para a saúde e o ambiente. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 57, s/n, p. 135-159, 2021. DOI: [10.5380/dma.v56i0.76158](https://doi.org/10.5380/dma.v56i0.76158)

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Painéis de informações de agrotóxicos**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos>. Acesso em: 03 jun. 2023.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Portaria Normativa IBAMA nº 84, de 15 de outubro de 1996**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=994>. Acesso em: 03 jun. 2023.

INDEA. Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso. **Relatório de Comércio de Agrotóxicos consolidado**. Disponível em: <https://www.indea.mt.gov.br/-/22422747-relatorio-de-comercio-de-agrotoxicos-consolidado>. Acesso em: 10 mai. 2023.

IRAC. Comitê de Ação à Resistência a Inseticidas. **Modo de Ação de Inseticidas e Acaricidas**. Disponível em: <https://www.irac-br.org/modo-de-acao>. Acesso em: 03 jun. 2023.

ISMAEL, L. L.; ROCHA, E. M. R. Estimativa de contaminação de águas subterrâneas e superficiais por agrotóxicos em área sucroalcooleira, Santa Rita/PB, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, n. 12, p. 4665-4675, 2019. DOI: [10.1590/1413-812320182412.27762017](https://doi.org/10.1590/1413-812320182412.27762017)

JESCHKE, P.; NAUEN, R. Neonicotinoids – from zero to hero in insecticide chemistry. **Pest Management Science**, v. 64, n. 11, p. 1084-1098, 2008. DOI: [10.1002/ps.1631](https://doi.org/10.1002/ps.1631)

JOKANOVIĆ, M. Biotransformation of organophosphorus compound. **Toxicology**, v. 166, n. 3, p. 139-160, 2001. DOI: [10.1016/S0300-483X\(01\)00463-2](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(01)00463-2)

KAH, M.; BEULKE, S.; BROWN, C. D. Factors Influencing Degradation of Pesticides in Soil. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 55, n. 11, p. 4487-4492, 2007. DOI: [10.1021/jf0635356](https://doi.org/10.1021/jf0635356)

KAH, M.; BROWN, C. D. Adsorption of Ionisable Pesticides in Soils. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 188, s/n, p. 149-217, 2006. DOI: [10.1007/978-0-387-32964-2_5](https://doi.org/10.1007/978-0-387-32964-2_5)

KARCZMAR, A. Anticholinesterases] dramatic aspects of their use and misuse. **Neurochemistry International**, v. 32, n. 5-6, p. 401-411, 1998. DOI: [10.1016/S0197-0186\(97\)00123-X](https://doi.org/10.1016/S0197-0186(97)00123-X)

KIM, J. *et al.* Assessment of acute and chronic toxicity of cyantraniliprole and sulfoxaflor on honey bee (*Apis mellifera*) larvae. **Pest Management Science**, v. 78, n. 12, p. 5402-5412, 2022. DOI: [10.1002/ps.7162](https://doi.org/10.1002/ps.7162)

KNAUER, K. *et al.* The influence of particles on bioavailability and toxicity of pesticides in surface water. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 13, n. 4, p. 585-600, 2017. DOI: [10.1002/ieam.1867](https://doi.org/10.1002/ieam.1867)

LEWIS, K. A. *et al.* An international database for pesticide risk assessments and management. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 22, n. 4, p. 1050-1064, 2016. DOI: [10.1080/10807039.2015.1133242](https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242)

LIN, Z. *et al.* Degradation of Acephate and Its Intermediate Methamidophos: Mechanisms and Biochemical Pathways. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, s/n, p. 2045, 2020. DOI: [10.3389/fmicb.2020.02045](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.02045)

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. D. Agrochemicals and their impacts on human and environmental health: a systematic review. **Saúde Debate**, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018. DOI: [10.1590/0103-1104201811714](https://doi.org/10.1590/0103-1104201811714)

LOUREIRO, G. A. H. de. A. *et al.* Risco de contaminação do solo e da água por substâncias ativas de pesticidas associadas aos cultivos agrícolas de Calimaya, México Central. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 19, n. 2, p. 58-69, 2021. DOI: [10.30681/reaa.v19i1.5133](https://doi.org/10.30681/reaa.v19i1.5133)

MA, S. *et al.* A combination of *Tropilaelaps mercedesae* and imidacloprid negatively affects survival, pollen consumption and midgut bacterial composition of honey bee. **Chemosphere**, v. 268, s/n, p. 129368, 2021. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2020.129368](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129368)

MAHUGIJA, J. A. M.; HENKELMANN, B.; SCHRAMM, K. W. Levels and patterns of organochlorine pesticides and their degradation products in rainwater in Kibaha Coast Region, Tanzania. **Chemosphere**, v. 118, s/n, p. 12-19, 2015. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2014.05.051](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.051)

MARIOT, E. *et al.* Uso do índice LIX na previsão de lixiviação dos pesticidas metolaclo, endossulfam, clorpirifós, carbendazim e diurom. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 19, p. 57-64, 2009. DOI: [10.5380/pes.v19i0.16555](https://doi.org/10.5380/pes.v19i0.16555)

MERCADO-BORRAYO, B. M. *et al.* Organophosphorus and Organochlorine Pesticides Bioaccumulation by Eichhornia crassipes in Irrigation Canals in an Urban Agricultural System. **International Journal of Phytoremediation**, v. 17, n. 7, p. 701-708, 2015. DOI: [10.1080/15226514.2014.964841](https://doi.org/10.1080/15226514.2014.964841)

MOXON, M. *et al.* An analysis of the setting of the acute reference dose (ARfD) for pesticides in Europe. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 113, s/n, p. 104638, 2020. DOI: [10.1016/j.yrtph.2020.104638](https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104638)

MURRAY, K. E.; THOMAS, S. M.; BODOUR, A. A. Prioritizing research for trace pollutants and emerging contaminants in the freshwater environment. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 12, p. 3462-3471, 2010. DOI: [10.1016/j.envpol.2010.08.009](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.08.009)

NARAHASHI, T. *et al.* Ion channels as targets for insecticides. **Neurotoxicology**, v. 19, n. 4-5, p. 581-590, 1998.

OLIVEIRA, M. F. de.; BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos Herbicidas no Ambiente. *In*: OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 263-304.

PADILHA, S.; WILSON, V. Z.; BUSHNELL, P. J. Studies on the correlation between blood cholinesterase inhibition and 'target tissue' inhibition in pesticide-treated rats. **Toxicology**, v. 92, n. 1-3, p. 11-25, 1994. DOI: [10.1016/0300-483X\(94\)90164-3](https://doi.org/10.1016/0300-483X(94)90164-3)

PAL, R. *et al.* Degradation and Effects of Pesticides on Soil Microbiological Parameters - A Review. **International Journal of Agricultural Research**, v. 1, n. 3, p. 240-258, 2006. DOI: [10.3923/ijar.2006.240.258](https://doi.org/10.3923/ijar.2006.240.258)

PALMA, D. C. A. **Agrotóxicos em leite humano de mães residentes em Lucas do Rio Verde - MT**. 2011. 103 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

PANDEY, N. *et al.* Role of climate change variables (standing water and rainfall) on dissipation of chlorantraniliprole from a simulated rice ecosystem. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 205, p. 111324, 2020. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2020.111324](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111324)

PANIZZI, A. R. Growing Problems with Stink Bugs (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae): Species Invasive to the U.S. and Potential Neotropical Invaders. **American Entomologist**, v. 61, n. 4, p. 223-233, 2015. DOI: [10.1093/ae/tmv068](https://doi.org/10.1093/ae/tmv068)

PANIZZI, A. R.; BUENO, A. de F.; SILVA, F. A. C. da. Insetos que atacam vagens e grãos. *In*: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Eds.). **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Brasília: Embrapa, 2012. p. 335-420.

PATIL, K.; DAVID, M. Hepatotoxic potential of malathion in the freshwater teleost, *Labeo rohita* (Hamilton). **Veterinarski arhiv**, v. 79, n. 2, p. 179-188, 2009.

PAZINI, J. B. *et al.* Side-effects of pesticides used in irrigated rice areas on *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Platygasteridae). **Ecotoxicology**, v. 26, n. 6, p. 782-791, 2017. DOI: [10.1007/s10646-017-1809-0](https://doi.org/10.1007/s10646-017-1809-0)

PITTA, R. M. *et al.* Suscetibilidade de *Euschistus heros* (Fabr. 1794) (Heteroptera: Pentatomidae) a inseticidas em Mato Grosso. **Scientific Electronic Archives**, v. 11, n. 3, p. 1-5, 2018.

POLLACK, R. J. *et al.* Differential Permethrin Susceptibility of Head Lice Sampled in the United States and Borneo. **Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine**, v. 153, n. 9, p. 969-973, 1999. DOI: [10.1001/archpedi.153.9.969](https://doi.org/10.1001/archpedi.153.9.969)

POSTAL, J. M. R.; JEANNIN, P. C.; CONSALVI, P. J. F. Field Efficacy of a

Mechanical Pump Spray Formulation Containing 0,25% Fipronil in the Treatment and Control of Flea Infestation and Associated Dermatological Signs in Dogs and Cats. **Veterinary Dermatology**, v. 6, n. 3, p. 153-158, 1995. DOI: [10.1111/j.1365-3164.1995.tb00059.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3164.1995.tb00059.x)

POTTS, J. *et al.* Acetamiprid fate in a sandy loam with contrasting soil organic matter contents: A comparison of the degradation, sorption and leaching of commercial neonicotinoid formulations. **Science of The Total Environment**, v. 842, p. 156711, 2022. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.156711](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156711)

QUERINO, I. de. A. *et al.* A educação ambiental como instrumento de conscientização e sensibilização no uso adequado dos agrotóxicos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 2, p. 276-288, 2017. DOI: [10.6008/SPC2179-6858.2017.002.0022](https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.002.0022)

RAJ, J. *et al.* Determination of Median Lethal Dose of Combination of Endosulfan and Cypermethrin in Wistar Rat. **Toxicology International**, v. 20, n. 1, p. 1-6, 2013. DOI: [10.4103/0971-6580.111531](https://doi.org/10.4103/0971-6580.111531)

RAUH, J. J.; LUMMIS, S. C. R.; SATTELLE, D. B. Pharmacological and biochemical properties of insect GABA receptors. **Trends in Pharmacological Sciences**, v. 11, n. 8, p. 325-329, 1990. DOI: [10.1016/0165-6147\(90\)90236-2](https://doi.org/10.1016/0165-6147(90)90236-2)

RAYMANN, K. *et al.* Imidacloprid decreases honey bee survival but does not affect the gut microbiome. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 84, n. 13, p. e00545-18, 2018. DOI: [10.1128/AEM.00545-18](https://doi.org/10.1128/AEM.00545-18)

REBELO, R. M.; CALDAS, E. D. Avaliação de risco ambiental de ambientes aquáticos afetados pelo uso de agrotóxicos. **Química Nova**, v. 37, n. 7, p. 1199-1208, 2014. DOI: [10.5935/0100-4042.20140165](https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140165)

RÊGO, H. P. **Estudo da remoção de metamidofós de água por adsorção em biochar**. 2020. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

RIBEIRO, F. de. C. *et al.* Manejo com inseticidas visando o controle de percevejo-marrom na soja intacta. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 2, p. 48-53, 2016. DOI: [10.32404/rean.v3i2.1132](https://doi.org/10.32404/rean.v3i2.1132)

RODRIGUES, L. H. R. *et al.* Avaliação da sensibilidade de *Raphidocelis subcapitata* (Chlorococcales, Chlorophyta) ao sulfato de cobre e sulfato de zinco através de ensaios de toxicidade crônica. **Biociências**, v. 11, n. 2, p. 137-144, 2003.

ROGGIA, S. *et al.* **Eficiência de inseticidas no controle do percevejo-marrom (*Euschistus heros*) em soja, na safra 2018/2019: resultados sumarizados de ensaios cooperativos**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 154).

ROUVALIS, A. *et al.* Determination of pesticides and toxic potency of rainwater samples in western Greece. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, n. 3,

p. 828-833, 2009. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2008.09.016](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.09.016)

SABATIER, P. *et al.* Long-term relationships among pesticide applications, mobility, and soil erosion in a vineyard watershed. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 4, p. 15647-15652, 2014. DOI: [10.1073/pnas.1411512111](https://doi.org/10.1073/pnas.1411512111)

SABIK, H.; JEANNOT, R.; RONDEAU, B. Multiresidue methods using solid-phase extraction techniques for monitoring priority pesticides, including triazines and degradation products, in ground and surface waters. **Journal of Chromatography**, v. 885, n. 1-2, p. 217-236, 2000. DOI: [10.1016/S0021-9673\(99\)01084-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(99)01084-5)

SABRA, F. S.; MEHANA, E. S. E. D. Pesticides Toxicity in Fish with Particular Reference to Insecticides. **Asian Journal of Agriculture and Food Sciences**, v. 3, n. 1, p. 40-60, 2015.

SALVIA, M. *et al.* Environmental Metabolic Footprinting (EMF) vs. half-life: a new and integrative proxy for the discrimination between control and pesticides exposed sediments in order to further characterise pesticides' environmental impact. **Environmental Science Pollution Research**, v. 25, n. 30, p. 29841-29847, 2017. DOI: [10.1007/s11356-017-9600-6](https://doi.org/10.1007/s11356-017-9600-6)

SÁNCHEZ-BAYO, F.; TENNEKES, H. A. Environmental Risk Assessment of Agrochemicals — A Critical Appraisal of Current Approaches. *In*: LARRAMENDY, M. L.; SOLONESKI, S. (Eds.). **Toxicity and Hazard of Agrochemicals**. Croatia: InTech, 2015. p. 1-37. DOI: [10.5772/60739](https://doi.org/10.5772/60739)

SANTOS, J. P. *et al.* Changes in sperm motility of amazonian fish Tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier 1816) (Characiformes: Serrasalminidae) exposed to two pesticides. **Biota Neotropica**, v. 23, n. 2, p. e20231471, 2023. DOI: [10.1590/1676-0611-BN-2023-1471](https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2023-1471)

SATYAVANI, G. *et al.* Toxicity Assessment of Expired Pesticides to Green Algae *Pseudokirchneriella subcapitata*. **ISRN Toxicology**, v. 2012, n. 1, p. 247072, 2012. DOI: [10.5402/2012/247072](https://doi.org/10.5402/2012/247072)

SCHAAF, A. A. Valoración de impacto ambiental por pesticidas agrícolas. **Observatorio Medioambiental**, v. 18, s/n, p. 87-96, 2015. DOI: [10.5209/rev_OBMD.2015.v18.51283](https://doi.org/10.5209/rev_OBMD.2015.v18.51283)

SHAFFER, T. J.; MEYER D. A.; CROFTON, K. M. Developmental Neurotoxicity of Pyrethroid Insecticides: Critical Review and Future Research Needs. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, n. 2, p. 123-136, 2005. DOI: [10.1289/ehp.7254](https://doi.org/10.1289/ehp.7254)

SHARMA, D.; ABROL, D. P. Effect of insecticides on foraging behaviour and pollination role of *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) on toria (*Brassica campestris* var. *toria*) crop. **Egyptian Journal of Biology**, v. 16, n. 1, p. 79-86, 2014. DOI: [10.4314/ejb.v16i1.11](https://doi.org/10.4314/ejb.v16i1.11)

SHARMA, N. *et al.* Persistence of chlorantraniliprole granule formulation in sugarcane field soil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 4, p.

2289-2295, 2014. DOI: [10.1007/s10661-013-3537-0](https://doi.org/10.1007/s10661-013-3537-0)

SILVA, F. H. K. P. *et al.* Pesticides in Brazil: an understanding of the current scenario of use and the properties of the soil that act on the dynamics and retention of these molecules. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e7911931614, 2022. DOI: [10.33448/rsd-v11i9.31614](https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31614)

SILVEIRA, A. V. T. DA.; ANTONIOSI FILHO, N. R. Proposta de alternativas menos tóxicas para ingredientes ativos de agrotóxicos no mercado brasileiro. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 23, s/n, p. 11-24, 2013. DOI: [10.5380/pes.v23i0.34971](https://doi.org/10.5380/pes.v23i0.34971)

SMITH, H.; DALE, A.; BEUZELIN, J. Understanding Insecticide Modes of Action and Resistance Management in Florida Horticulture. **EDIS**, v. 2022, s/n, p. 1-8, 2022. DOI: [10.32473/edis-IN1379-2022](https://doi.org/10.32473/edis-IN1379-2022)

SOMAVILLA, J. C. *et al.* Susceptibility of *Euschistus heros* and *Dichelops furcatus* (Hemiptera: Pentatomidae) to Selected Insecticides in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 113, n. 2, p. 924-931, 2019. DOI: [10.1093/jee/toz340](https://doi.org/10.1093/jee/toz340)

SOMAVILLA, J. C. *et al.* Susceptibility of *Euschistus heros* and *Dichelops furcatus* (Hemiptera: Pentatomidae) to insecticides determined from topical bioassays and diagnostic doses for resistance monitoring of *E. heros* in Brazil. **Crop Protection**, v. 138, s/n, p. 105319, 2020. DOI: [10.1016/j.cropro.2020.105319](https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105319)

SOSA-GÓMEZ, D. R.; CORSO, I. C.; MORALES, L. Insecticide Resistance to Endosulfan, Monocrotophos and Metamidophos in the Neotropical Brown Stink Bug, *Euschistus heros* (F.). **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 2, p. 317-320, 2001. DOI: [10.1590/S1519-566X2001000200017](https://doi.org/10.1590/S1519-566X2001000200017)

SOSA-GÓMEZ, D. R. *et al.* **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. (Embrapa Soja. Documentos, 269).

SOSA-GÓMEZ, D. R. *et al.* Prevalence, damage, management and insecticide resistance of stink bug populations (Hemiptera: Pentatomidae) in commodity crops. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 22, s/n, p. 1-21, 2019. DOI: [10.1111/afe.12366](https://doi.org/10.1111/afe.12366)

SOSA-GÓMEZ, D. R.; SILVA, J. J. Neotropical brown stink bug (*Euschistus heros*) resistance to methamidophos in Paraná, Brazil **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 7, p. 767, 2010. DOI: [10.1590/S0100-204X2010000700019](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000700019)

SPADOTTO, C. A. Screening method for assessing pesticide leaching potential. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 12, s/n, p. 69-78, 2002. DOI: [10.5380/pes.v12i0.3151](https://doi.org/10.5380/pes.v12i0.3151)

SUCHAIL, S.; GUEZ, D.; BELZUNCES, L. P. Discrepancy between acute and chronic toxicity induced by imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera*. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 20, n. 11, p. 2482-2486, 2001. DOI:

[10.1002/etc.5620201113](https://doi.org/10.1002/etc.5620201113)

TUELHER, E. S. *et al.* Chlorantraniliprole-mediated toxicity and changes in sexual fitness of the Neotropical brown stink bug *Euschistus heros*. **Journal of Pest Science**, v. 90, n. 1, p. 397-405, 2017. DOI: [10.1007/s10340-016-0777-0](https://doi.org/10.1007/s10340-016-0777-0)

ULLAH, R. *et al.* Toxicity to Hematology and Morphology of Liver, Brain and Gills during Acute Exposure of Mahseer (*Tor putitora*) to Cypermethrin. **International Journal Of Agriculture & Biology**, v. 17, n. 1, p. 199-204, 2015.

ULLAH, S. *et al.* Biomarkers of pyrethroid toxicity in fish. **Environmental Chemistry Letters**, v. 17, s/n, p. 945-973, 2019. DOI: [10.1007/s10311-018-00852-y](https://doi.org/10.1007/s10311-018-00852-y)

ULLAH, S. *et al.* Malathion induced oxidative stress leads to histopathological and biochemical toxicity in the liver of rohu (*Labeo rohita*, Hamilton) at acute concentration. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 161, s/n, p. 270-280, 2018. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2018.06.002](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.002)

WANG, X. *et al.* Environmental Behavior of the Chiral Organophosphorus Insecticide Acephate and Its Chiral Metabolite Methamidophos: Enantioselective Transformation and Degradation in Soils. **Environmental Science & Technology**, v. 47, n. 16, p. 9233-9240, 2013. DOI: [10.1021/es401842f](https://doi.org/10.1021/es401842f)

WEN, Z.; SCOTT, J. G. Cross-Resistance to Imidacloprid in Strains of German Cockroach (*Blattella germanica*) and House Fly (*Musca domestica*). **Pesticide Science**, v. 49, n. 4, p. 367-371, 1997. DOI: [10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199704\)49:4<367::AID-PS542>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199704)49:4<367::AID-PS542>3.0.CO;2-L)

WINKLER, D. A. Overview of Quantitative Structure–Activity Relationships (QSAR). *In*: RAPLEY, R.; HARBRON, S. (Eds). **Molecular Analysis and Genome Discovery**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. p. 347-367.

YEN, J.; LIN, K.; WANG, Y. Potential of the Insecticides Acephate and Methamidophos to Contaminate Groundwater. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 45, n. 1, p. 79-86, 2000. DOI: [10.1006/eesa.1999.1846](https://doi.org/10.1006/eesa.1999.1846)

ZAMBLIAZZI, E. V. *et al.* Controle biológico *in-vitro* do percevejo-marrom (*Euschistus heros*) com *Beauveria bassiana*. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 3, p. 43-48, 2011. DOI: [10.0000/rtcab.v6i2.534](https://doi.org/10.0000/rtcab.v6i2.534)

ZANTEDESCHI, R. *et al.* Seletividade de agrotóxicos registrados para a cultura da soja a *Telenomus podisi* e *Trissolcus basal*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 1, p. 52-58, 2018. DOI: [10.1590/1983-40632018v4850348](https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4850348)

ARTIGO 2

Compatibilidade da associação de *Pseudomonas fluorescens* e *Pseudomonas chlororaphis* com produtos fitossanitários sobre *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae)

RESUMO

Euschistus heros (Hemiptera: Pentatomidae) é manejado, frequentemente, com inseticidas químicos, os quais se usados incorretamente, resultam em impactos negativos no ambiente. Ascende, por consequência, a busca por táticas seguras de controle como o emprego de bio defensivos. Contudo, a aplicação desses, não ocorre isoladamente, pois os produtores associam diferentes princípios ativos em uma mesma pulverização, tencionando minimizar custos e limitar reentradas na lavoura. Desse modo, este trabalho objetivou avaliar a compatibilidade da associação de bactérias entomopatogênicas e produtos fitossanitários registrados para a cultura da soja, no controle de *E. heros*. No teste de compatibilidade *in vitro*, foram avaliados 24 produtos fitossanitários associados com *Pseudomonas fluorescens*+*Pseudomonas chlororaphis*, enquanto, no teste de calda, foram simuladas sete caldas, com base nas aplicações dos sojicultores da região sudoeste de MT. A compatibilidade foi determinada através da contagem de unidades formadoras de colônias (UFCs) e medição do diâmetro de colônia (cm), em meio Ágar *Pseudomonas*®. Os tratamentos considerados compatíveis foram utilizados nos bioensaios *in vivo* com ninfas de 3º ínstar e adultos de *E. heros*. Com base nos resultados, constatou-se que apenas os princípios ativos *Beauveria bassiana* e indoxacarbe foram compatíveis. Os demais tratamentos e as caldas foram incompatíveis, por inibirem o crescimento das bactérias. As *Pseudomonas* não apresentaram bioatividade sobre ninfas e adultos de percevejo-marrom. Conclui-se que as cepas aqui estudadas não podem ser associadas com a maioria dos defensivos utilizados na cultura da soja e nem sequer recomendadas no controle da referida praga.

Palavras-chave: controle biológico, UFC, associação, percevejo-marrom.

ABSTRACT

Euschistus heros (Hemiptera: Pentatomidae) is often managed with chemical insecticides, which, if used incorrectly, result in negative impacts on the environment. Consequently, the search for safe control tactics such as the use of bio defenses is increasing. However, their application does not occur in isolation, as producers combine different active ingredients in the same spray, intending to minimize costs and limit re-entry into the crop. Therefore, this work aimed to evaluate the compatibility of the association of entomopathogenic bacteria and phytosanitary products registered for soybean cultivation, in the control of *E. heros*. In the *in vitro* compatibility test, 24 phytosanitary products associated with *Pseudomonas fluorescens*+*Pseudomonas chlororaphis* were evaluated, while in the spray test, seven sprays were simulated, based on applications from soybean farmers in the southwest region of MT. Compatibility was determined by counting colony forming units (CFUs) and measuring colony diameter (cm) on Agar *Pseudomonas*® medium. The treatments considered compatible were used in *in vivo* bioassays with 3rd instar nymphs and adults of *E. heros*. Based on the results, it was found that only the active ingredients *Beauveria bassiana* and indoxacarb were compatible. The other treatments and sprays were

incompatible, as they inhibited the growth of bacteria. *Pseudomonas* did not show bioactivity on brown stink bug nymphs and adults. It is concluded that the strains studied here cannot be associated with the majority of pesticides used in soybean cultivation and are not even recommended for controlling this pest.

Keywords: biological control, CFU, association, brown stink bug.

1. INTRODUÇÃO

Euschistus heros Fabricius, 1794 (Hemiptera: Pentatomidae), comumente denominado de percevejo-marrom, é o principal inseto-praga da soja no Brasil (SILVA et al., 2012; SMANIOTTO; PANIZZI, 2015), sendo seu manejo quase que, exclusivamente, baseado na aplicação de inseticidas químicos, principalmente, neonicotinoides, piretroides, carbamatos e organofosforados (ZAMBIAZZI et al., 2011; RIBEIRO et al., 2016; ROGGIA et al., 2019). Esses grupos químicos por serem utilizados de maneira corriqueira e com um falho programa de rotação de princípios ativos, têm contribuído para a seleção de indivíduos resistentes (PITTA et al., 2018).

Problemática que torna fundamental a integração de diferentes ferramentas no controle desse hemíptero-praga (BORGES et al., 2023) como os agentes de manejo biológico (BUENO et al., 2012), com destaque para os microrganismos entomopatógenos (bactérias e fungos, por exemplo), amplamente, pulverizados nos sistemas agrícolas, por serem promissores na redução do uso de produtos químicos (VAN LENTEREN et al., 2018).

Nesse pressuposto, emergem estudos indicando o potencial de *Pseudomonas* como bioinseticidas (KUPFERSCHMIED; MAURHOFER; KEEL, 2013; SPESCHA et al., 2023), caso das espécies *P. chlororaphis* (Pseudomonadales: Pseudomonadaceae) (TAO et al., 2011; RUFFNER et al., 2013) e *P. fluorescens* (Pseudomonadales: Pseudomonadaceae) (OTSU et al., 2004; KARTHIBA et al., 2010; LOPER et al., 2016).

A capacidade bioinseticida dessas espécies está relacionada à síntese de proteínas *Fit*, quitinase, fosfolipase, rizoxina, cianeto de hidrogênio e diferentes tipos de lipopeptídeos cíclicos (DEVI; KOTHAMASI, 2009; RUFFNER et al., 2013; FLURY et al., 2017), que permitem manejar insetos de diferentes ordens (TEOH; FURUSAWA; SINGHAM, 2021), dessa maneira, justifica-se o interesse das bioindústrias em comercializar esses microrganismos como bioinseticidas,

tencionando ampliar as táticas de controle já existentes no mercado.

Ademais, é de conhecimento da área agrônômica que os produtores não pulverizam defensivos isoladamente, pois para reduzir custos e reentradas com maquinário no cultivo, associam diferentes i.as. em uma mesma pulverização (GAZZIERO, 2015). Partindo da premissa que ocorre a associação entre diferentes bioinseticidas e inseticidas químicos (MAZARO et al., 2022), torna-se imprescindível compreender a compatibilidade desses, de maneira a recomendar segura e assertivamente os defensivos no manejo integrado de pragas (MIP) (SINDHURA, 2020). Além disso, os reais efeitos oriundos da mistura entre entomopatógenos e agrotóxicos são desconhecidos, pela carência de informações concernentes a compatibilidade (KNAAC et al., 2009).

Nesse sentido, já foi constatada a compatibilidade de *P. fluorescens* cepa KAU com onze fungicidas químicos (propiconazol, hexaconazol, tebuconazol, difenconazol, azoxistrobina, carbendazim e famoxadona+cimoxanil) comumente empregados no manejo de doenças da bananeira, na Índia (LOUIS et al., 2016). Também, já foi averiguada a incompatibilidade entre *P. fluorescens* cepa 28 e os herbicidas sulfosulfuron e isoproturon na concentração de 10 ppm, com prejuízo no crescimento da bactéria, ao evidenciarem toxicidade aguda (SINGH et al., 2021).

Resultados promissores já foram obtidos com a aplicada isolada e combinada de *P. fluorescens* e *P. chlororaphis* com agrotóxicos em culturas como algodão, cana-de-açúcar, frutas cítricas, feijão, tomate, café, trigo, soja e milho nos estados de MT, MS, SP, MG e PR, visando o manejo à base de microbiológicos de diversos insetos-praga (PRADEBON et al., 2023), sendo que para a soja, o estudo observou maior eficiência (100%) na mortalidade de ninfas e adultos de *Chinavia orian* (Hemiptera: Pentatomidae) e *Edessa meditabunda* (Hemiptera: Pentatomidae).

No Brasil, os dados direcionados ao emprego de *P. chlororaphis* e *P. fluorescens* no controle de hemípteros-praga e em mistura com agrotóxicos são escassos. Em outros países, o cenário é diferente e anualmente são publicados novos estudos contemplando, principalmente, a compatibilidade de *P. fluorescens* (DHANIA et al., 2016; NANDINI et al., 2018; Merjan; Abbas; Hussein, 2019; FERNANDEZ; TORASSA; PÉREZ, 2021). Desse modo, o presente trabalho objetivou avaliar a compatibilidade da associação de *P. chlororaphis* CCTB19 e *P. fluorescens* CCTB03 com produtos fitossanitários, no manejo de percevejo-marrom.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os bioensaios de compatibilidade *in vitro* e de calda foram realizados no Laboratório de Microbiologia, enquanto, os bioensaios *in vivo* foram executados no Laboratório de Entomologia. Os referidos laboratórios estão vinculados ao Centro de Pesquisas, Estudos e Desenvolvimento Agro-Ambiental (CPEDA), da Universidade do Estado de Mato Grosso, *Campus* Universitário Professor Eugênio Carlos Stieler, Tangará da Serra.

2.1 Obtenção das bactérias *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*

Os isolados de *P. fluorescens* CCTB03 ($1,1 \times 10^4$ UFC/mL de pc) + *P. chlororaphis* CCTB19 ($5,2 \times 10^7$ UFC/mL de pc) foram obtidos através do bioinseticida Biokato[®] registrado e comercializado no Brasil (AGROFIT, 2023) para uso em culturas agrícolas. Para o armazenamento e dosagem, seguiu-se as recomendações contidas na bula.

2.2 Compatibilidade *in vitro* entre *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* e os produtos fitossanitários

Para avaliar a compatibilidade *in vitro* com *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*, utilizou-se 24 produtos fitossanitários registrados para a cultura da soja, na dose média recomendada pelos fabricantes (Tabela 9). Inicialmente, preparou-se o meio de cultura através da dissolução de 24,2g de Ágar Pseudomonas[®] (HiMedia Leading BioSciences Company) em 500 ml de água destilada contendo 5 ml de glicerol, sendo posteriormente autoclavado a 121° C, por 15 minutos. Ao atingir a temperatura de 45°C, ponto em que o meio não se encontrava solidificado, cada produto fitossanitário foi adicionado e homogeneizado em agitador magnético, para aferição de pH, utilizando papel indicador (VEIGA, 2014).

Após a solidificação do meio, inoculou-se no ponto central das placas, 5µL de *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) e cada placa de petri correspondeu a uma repetição, totalizando 3 repetições (3 placas) para cada associação (tratamento). Para a

testemunha, não foi adicionado produto fitossanitário no meio de cultura Ágar Pseudomonas®. Adaptou-se as metodologias empregadas por Merjan; Abbas; Hussein (2019) e Singh et al. (2021).

As placas foram acondicionadas em estufa para cultura bacteriológica, com temperatura de 28°C. Decorridas 48 horas, foi medido o diâmetro (cm) da colônia. Para determinar a concentração do número de unidades formadoras de colônias (UFCs), a colônia foi raspada do meio de cultura com o auxílio da alça de platina e alocada em tubos Falcon contendo água estéril. Posteriormente, essa solução foi diluída e as diluições 10^{-4} , 10^{-6} e 10^{-8} , plaqueadas em placas de Petri contendo meio Ágar Pseudomonas® (ajustado pH=7,10) e incubadas a temperatura de 28°C (48h), para o cálculo de UFC/mL.

Tabela 9 - Descrição dos tratamentos avaliados quanto a compatibilidade *in vitro* com *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*.

Trat.	Associação	Ingrediente ativo (i.a.)	Grupo	Dose (L/Kg ha ⁻¹)*
T1	Biológico (Bio)	<i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i>	Inseticida microbiológico	-
T2	Bio + Fungicida químico	Fluxapiroxade + Piraclostrobina	Estrobilurina + Carboxamida	0,3
T3	Bio +Fungicida químico	Mancozebe	Alquilenobis	2,25
T4	Bio +Fungicida químico	Picoxistrobina + Tebuconazol + Mancozebe	Estrobilurina + Triazol + Alquilenobis	2,25
T5	Bio +Fungicida químico	Clorotalonil	Isoftalonitrila	1,5
T6	Bio +Fungicida químico	Difenoconazol + Ciproconazol	Triazol	0,25
T7	Bio +Fungicida químico	Protioconazol + Trifloxistrobina	Estrobilurina + Triazolintiona	0,4
T8	Bio +Fungicida biológico	<i>Bacillus pumilus</i>	Fungicida microbiológico	0,425
T9	Bio +Inseticida biológico	<i>Beauveria bassiana</i> (CEPA ESALQ PL63)	Inseticida microbiológico	0,75
T10	Bio +Inseticida biológico	<i>Isaria fumosorosea</i> (CEPA ESALQ 1296)	Inseticida microbiológico	0,65
T11	Bio +Inseticida químico	Tiametoxam + Lambda-cialotrina	Neonicotinoide + Piretroide	0,2
T12	Bio +Inseticida químico	Acetamiprido + Piriproxifem	Neonicotinoide + Éter piridiloxipropílico	0,225
T13	Bio +Inseticida químico	Clorpirifós	Organosfosforado	1,5
T14	Bio +Inseticida químico	Clorfenapir	Análogo de pirazol	0,9
T15	Bio +Inseticida químico	Espinetoram	Espinosina	0,125
T16	Bio +Inseticida químico	Benzoato de emamectina	Avermectina	0,20
T17	Bio +Inseticida químico	Indoxacarbe	Oxadiazina	0,35
T18	Bio +Herbicida	Glifosato	Glicina substituída	2,0
T19	Bio +Herbicida	Fomesafem	Éter difenílico	0,95
T20	Bio +Herbicida	Cletodim	Oxima ciclohexanodiona	0,8
T21	Bio +Herbicida	Imazetapir	Imidazolinona	1,0
T22	Bio +Herbicida	Haloxifope-P-metílico	Ácido ariloxifenoxipropiônico	0,18
T23	Bio +Adjuvante	Óleo de soja	Hidrocarbonetos alifáticos	1,25
T24	Bio +Adjuvante	Alquil éster fosfatado	Éster metílico	0,2
T25	Bio +Adjuvante	Óleo mineral	Éster alquílico do ácido fosfórico	0,25

*Dose média recomendada na bula do produto comercial.

Os índices de compatibilidade foram determinados através de uma escala adaptada de Louis et al. (2016) (Tabela 10).

Tabela 10 - Escala de compatibilidade para *Pseudomonas* adaptada de Louis et al. (2016).

Índice	Descrição
+++	Crescimento similar a testemunha: Alto crescimento.
++	Cresce 50% em relação a testemunha: Moderado crescimento.
+	Cresce menos de 50% em relação a testemunha: Baixo crescimento
-	Não há crescimento: Incompatível

2.3 Compatibilidade de calda entre *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* e produtos fitossanitários

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado (DIC), utilizando-se para cada diluição (10^{-4} , 10^{-6} e 10^{-8}) duas repetições (duas placas), totalizando 6 placas por tratamento. Para avaliar a compatibilidade de diferentes caldas de produtos fitossanitários, foi simulado o preparo de 1L de calda de cada tratamento (Tabela 11), para os quais foram considerados a dose média recomendada de cada produto fitossanitário. Cada calda foi diluída e as diluições 10^{-4} , 10^{-6} e 10^{-8} , plaqueadas em placas de Petri, contendo meio de cultura Ágar *Pseudomonas*®.

As placas foram acondicionadas em estufa para cultura bacteriológica, com temperatura variando entre 28 e 30 °C. Decorridas 48 horas, foi mensurado o número de UFCs e se houve interferência no crescimento das mesmas. O índice de compatibilidade seguiu o mesmo proposto por Louis et al. (2016).

Tabela 11 - Descrição dos tratamentos avaliados quanto a compatibilidade de calda com *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*.

Trat.	Associação	Ingrediente ativo (i.a.)	Dose*
T1	Biológico	<i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i>	1,2 L ha ⁻¹
T2	Biológico + Fungicida químico + Inseticida químico + Adjuvante	<i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> + Fluxapiraxade+Piraclostrobina + Espinetoram + Óleo mineral	1,2 L ha ⁻¹ + 0,30 L ha ⁻¹ + 0,10 L ha ⁻¹ + 1,25 L ha ⁻¹
T3	Biológico + Fungicida químico + Fungicida químico + Inseticida químico	<i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> + Difenconazol+Ciproconazol + Clorotalonil + Tiametoxam+Lambda-cialotrina	1,2 L ha ⁻¹ + 0,25 L ha ⁻¹ + 1,5 L ha ⁻¹ + 0,2 L ha ⁻¹
T4	Biológico + Fungicida químico + Inseticida químico + Inseticida químico	<i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> + Picoxistrobina+Tebuconazol+ Mancozebe+ Indoxacarbe + Clorpirifós	1,2 L ha ⁻¹ + 2,25 L ha ⁻¹ + 0,35 L ha ⁻¹ + 1,5 L ha ⁻¹
T5	Biológico + Fungicida químico	<i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> + Mancozebe	1,2 L ha ⁻¹ + 1,5 kg ha ⁻¹
T6	Biológico + Inseticida químico	<i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> + Benzoato de emamectina	1,2 L ha ⁻¹ + 0,2 kg ha ⁻¹
T7	Biológico + Adjuvante	<i>P. fluorescens</i> + <i>P. chlororaphis</i> + Alquil éster fosfatado	1,2 L ha ⁻¹ + 0,25 L ha ⁻¹

*Dose média recomendada na bula do produto comercial.

2.4 Criação de *E. heros* (Hemiptera: Pentatomidae)

Posturas, adultos e ninfas de *E. heros* foram coletados em lavouras de soja da região de Tangará da Serra, Mato Grosso, visando estabelecer uma criação no Laboratório de Entomologia, sob condições controladas de temperatura ($25^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$), umidade relativa ($70\%\pm 20\%$) e fotofase (12L:12E) (GOLIN, 2014).

Os percevejos adultos ficaram acondicionados em gaiolas (Figura 3A), contendo como alimentação vagens *in natura* de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), algodão umedecido com água destilada e, cartelas de papel (10,0 x 8,0 cm) contendo sementes de amendoim (*Arachis hypogaea*), grãos secos de soja (*G. max* L.) e sementes de girassol (*Helianthus annuus*) coladas com cola branca, não tóxica e fixados ao longo da borda superior, através de ganchos feitos com clips metálicos (Figura 3B) (BORGES et al., 2006).

Tiras de tecido feltro serviram como substrato de oviposição (CÔRREA-FERREIRA; OLIVEIRA, 1982), as quais eram recortadas e alocadas em placas de Petri (Figura 3C). Nessas placas, as ninfas de 1° ínstar eclodiam, sendo alimentadas com um pedaço de vagem (Figura 3D) e permaneciam nesse ambiente (Figura 3E) até atingirem o estágio de 3° ínstar, sendo que nesse último, as ninfas eram realocadas em potes plásticos revestidos com papel toalha e contendo vagem e grãos secos como dieta (Figura 3F). Ao atingir o estágio de 4° e 5° ínstaes, as ninfas eram transferidas para gaiolas (semelhantes às de adultos). A troca da dieta e limpeza das gaiolas ocorreu três vezes por semana.

Figura 3 - Criação de *E. heros* em condições de laboratório. Tangará da Serra – MT, 2023.



A) Gaiolas de plástico para acondicionamento de adultos e, ninfas de 4° e 5° ínstar. B) Visão do interior das gaiolas contendo a dieta fornecida aos percevejos. C) Oviposição dos adultos no tecido feltro. D) Ninfas recém-eclodidas de *E. heros*. E) Placas de Petri contendo dieta e ninfas de 2° ínstar. F) Interior dos potes plásticos contendo ninfas de 3° ínstar.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

2.5 Bioensaio *in vivo* de patogenicidade da associação de *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* aos produtos fitossanitários sobre ninfas de *E. heros* (Hemiptera: Pentatomidae)

As caldas de *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* utilizadas para a aplicação tópica foram obtidas através da raspagem da colônia do primeiro bioensaio *in vitro*, sendo

usada somente as associações classificadas como compatíveis. Como controle positivo foi usada a calda de *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* e como controle negativo água destilada. O delineamento experimental adotado foi o DIC.

Com o auxílio de uma micropipeta foram aplicados 2 µL das caldas sobre o dorso dos percevejos (DALLA NORA et al., 2020), que, posteriormente, foram alocados em potes plásticos (150ml) contendo vagem e grãos secos em sala com condições controladas de temperatura ($28^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$), umidade relativa ($70\% \pm 20\%$) e fotofase (12L:12E). Foram utilizadas 10 ninfas de 3º ínstar de *E. heros* para cada repetição (10 repetições), totalizando 100 indivíduos/tratamento.

Avaliou-se nas associações compatíveis, a duração de cada ínstar (3º, 4º e 5º ínstar), período ninfal total e razão sexual.

2.6 Bioensaio *in vivo* de patogenicidade da associação de *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* aos produtos fitossanitários sobre adultos de *E. heros* (Hemiptera: Pentatomidae)

O bioensaio *in vivo* com adultos seguiu o mesmo protocolo dos testes com ninfas. Com o auxílio de uma micropipeta foram aplicados 5 µL das caldas sobre o dorso de percevejos adultos recém-emergidos (DALLA NORA et al., 2020), que, posteriormente, foram alocados em potes plásticos (150ml) contendo vagem, grãos secos e tiras de tecido feltro para oviposição. Os potes foram mantidos em sala com condições controladas de temperatura ($28^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$), umidade relativa ($70\% \pm 20\%$) e fotofase (12L:12E). Para cada tratamento, utilizou-se 50 casais virgens de *E. heros*, a fim de avaliar a fecundidade e a fertilidade. diariamente era avaliada a fim de avaliar a fecundidade e a fertilidade das fêmeas.

2.7 Análise estatística dos dados

Adotou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados. Os dados de contagem de UFCs, duração de período ninfal, razão sexual, fecundidade e fertilidade foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativos, as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no software RStudio® versão 4.3.2 (R CORE TEAM, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fungicidas, herbicidas, adjuvantes e a maioria dos inseticidas, na dose média recomendada, foram considerados incompatíveis quando associados com *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*, por terem inibido o crescimento das bactérias (Tabela 12). As associações com *B. bassiana*, indoxacarbe e tiametoxam+lambda-cialotrina apresentaram maior diâmetro de colônia (Tabela 12, Figura 4) em comparação com a testemunha, a qual continha somente o Ágar Pseudomonas®. Isso, provavelmente, ocorreu em razão dos componentes dos i.as., terem enriquecido o meio de cultura, já que alguns microrganismos têm a capacidade de metabolizar os agrotóxicos para o seu desenvolvimento (DAS et al., 2003).

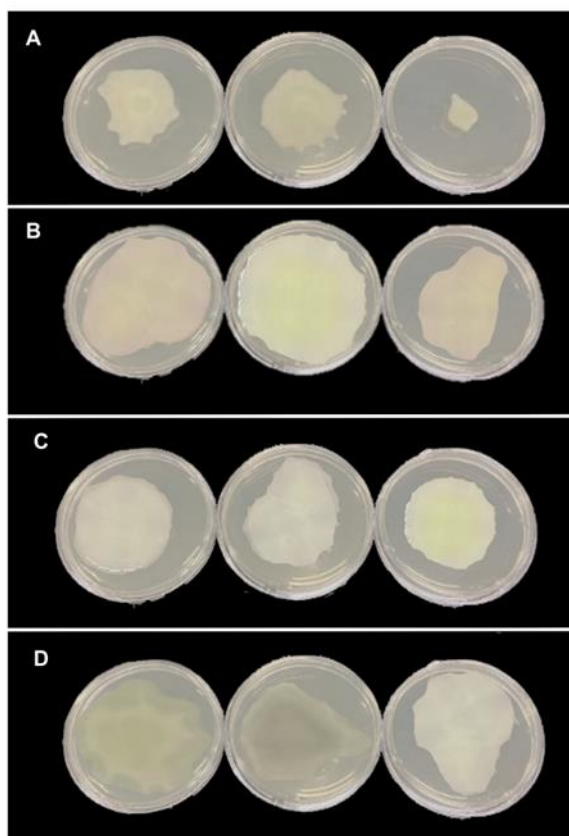
Tabela 12 - Médias ($\pm$ EP) dos parâmetros de crescimento *in vitro* de *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* após exposição aos tratamentos.

Trat.*	pH	Diâmetro de colônia (cm) ¹	UFC/mL ¹		Classificação
			<i>P. fluorescens</i>	<i>P. chlororaphis</i>	
T1	7,0	1,26 $\pm$ 0,10 d	1,00 $\pm$ 0,60 x 10 ⁴ b	3,20 $\pm$ 1,20 x 10 ⁷ a	-
T2	6,0	Não desenvolveu			-
T3	6,0	Não desenvolveu			-
T4	5,0	Não desenvolveu			-
T5	5,0	Não desenvolveu			-
T6	5,0	Não desenvolveu			-
T7	6,0	Não desenvolveu			-
T8	7,0	Não desenvolveu			-
T9	7,0	7,50 $\pm$ 0,23 a	5,00 $\pm$ 0,80 x 10 ⁴ a	1,40 $\pm$ 0,65 x 10 ⁷ b	+++
T10	8,0	Não desenvolveu			-
T11	8,0	3,20 $\pm$ 0,10 c	1,05 $\pm$ 0,37 x 10 ³ b	2,50 $\pm$ 0,40 x 10 ³ a	+
T12	7,0	Não desenvolveu			-
T13	6,0	Não desenvolveu			-
T14	7,0	Não desenvolveu			-
T15	6,0	Não desenvolveu			-
T16	7,0	Não desenvolveu			-
T17	6,0	6,90 $\pm$ 0,19 b	5,08 $\pm$ 0,72 x 10 ⁴ a	1,00 $\pm$ 0,95 x 10 ⁷ b	+++
T18	5,0	Não desenvolveu			-
T19	6,0	Não desenvolveu			-
T20	7,0	Não desenvolveu			-
T21	6,0	Não desenvolveu			-
T22	7,0	Não desenvolveu			-
T23	7,0	Não desenvolveu			-
T24	6,0	Não desenvolveu			-
T25	6,0	Não desenvolveu			-
<i>p</i> <0,05			<i>p</i> <0,05	<i>p</i> <0,05	

¹Médias seguidas por mesma letra são iguais estatisticamente pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). *T1: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*; T2: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Fluxapiraxade+Piraclostrobina; T3: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Mancozebe; T4: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Picoxistrobina+Tebuconazol+Mancozebe; T5: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Clorotalonil; T6: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Difenconazol+Ciproconazol; T7: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Protiocanazol+Trifloxistrobina; T8: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + *B. pumilus*; T9: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + *B. bassiana* PL63; T10: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + *I. fumosorosea*; T11: *P.*

fluorescens+*P. chlororaphis* + Tiametoxam+Lambda-cialotrina; T12: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Acetamiprido+Piriproxfem; T13: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Clorpirifós; T14: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Clorfenapir; T15: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Espinetoram; T16: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Benzoato de emamectina; T17: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Indoxacarbe; T18: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Glifosato; T19: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Fomesafem; T20: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Cletodim; T21: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Imazetapir; T22: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Haloxifope-P-metílico; T23: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Óleo de soja; T24: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Alquil éster fosfatado; T25: *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Óleo mineral.

Figura 4 - Detalhamento dos tratamentos que permitiram a formação de colônia.



A) *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*; B) *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + *B. bassiana*; C) *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Tiametoxam+Lambda-cialotrina; D) *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Indoxacarbe.

Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Experimentos laboratoriais já evidenciaram que *P. fluorescens* cresce em meios de cultura contendo o i.a. tiametoxam, metabolizando-o para atender as suas necessidades de carbono (C) e nitrogênio (N) (ZAMULE et al., 2021). Essa bactéria, ainda, consegue quebrar moléculas de carboxina (incluída em certos defensivos) e convertê-la como fonte de N e C (PAL et al., 2001). No presente estudo, a associação com tiametoxam+lambda-cialotrina, apesar de ter incrementado o diâmetro de colônia (Figura 4), prejudicou a concentração de UFCs, sendo classificado em baixa compatibilidade (Tabela 12). Em bioensaios empregando o i.a. tiametoxam isolado (0,005%, 0,1% e 0,2% da dose recomendada), Nandini et al. (2018) observaram a

compatibilidade desse para *P. fluorescens*.

O fato do indoxacarbe ($0,35 \text{ L ha}^{-1}$) ter sido compatível (Tabela 4), corroborou com o dado averiguado por Surendran et al. (2012) que atestaram que indoxacarbe na dose de $0,4 \text{ mL L}^{-1}$ foi compatível para *P. fluorescens* Pf 43. Entretanto, difere de Naik (2013), onde esse mesmo princípio ativo, mas em doses diferentes e para outra cepa (Pf 4) de *P. fluorescens*, demonstrou ser incompatível, não permitindo o desenvolvimento de colônias.

Dentre os i.as. incompatíveis (clorpirifós), os resultados foram semelhantes aos notados por Dhanya et al. (2016), onde acetamiprido ($0,4 \text{ g L}^{-1}$) e clorpirifós ($1,5 \text{ mL L}^{-1}$) e inibiram significativamente o crescimento de *P. fluorescens*. Esse último, ao ser analisado em três concentrações (0,005%, 0,1% e 0,2% da dose recomendada), também foi incompatível para *P. fluorescens*, conforme Nandini et al. (2018).

Todos os fungicidas, incluindo o biológico à base de *B. pumilus* (Tabela 9), foram classificados como incompatíveis, pois não houve o crescimento de *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*. Os resultados aqui obtidos com difenoconazol+ciproconazol ($0,25 \text{ mL L}^{-1}$), do grupo químico Triazol, se assemelham aos de Hanuman; Madhavi (2018) que observaram baixa compatibilidade entre *P. fluorescens* cepa 16 e, os triazóis propiconazol e tebuconazol na dose de 1000 ppm (1 mL L^{-1}). Já, Dhanya et al. (2016) verificaram a incompatibilidade de *P. fluorescens* com fosetil de alumínio (1 g L^{-1}), hidróxido de cobre (2 g L^{-1}), oxicloreto de cobre (2 g L^{-1}), e cimoxanil+mancozebe (2 g L^{-1}), por terem inibido, significativamente, o crescimento da bactéria, dado semelhante ao observado por Singh et al. (2022), onde *P. fluorescens* foi incompatível com fungicidas à base de cobre (3 mL L^{-1} e 4 mL L^{-1}).

O i.a. clorotalonil foi incompatível (Tabela 12) na dose de $1,5 \text{ L ha}^{-1}$ para *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*, ratificando com os ponderados por Khan; Gangopadhyay (2008), que também verificaram a incompatibilidade de clorotalonil para *P. fluorescens* PFBC-25 e PFBC-26 nas doses de 1 ppm ($0,001 \text{ mL L}^{-1}$), 10 ppm ($0,01 \text{ mL L}^{-1}$), 20 ppm ($0,02 \text{ mL L}^{-1}$), 50 ppm ($0,05 \text{ mL L}^{-1}$), 100 ppm ($0,1 \text{ mL L}^{-1}$), 200 ppm ($0,2 \text{ mL L}^{-1}$) e 500 ppm ($0,5 \text{ mL L}^{-1}$). Gangwar (2013), por sua vez, verificou que *P. fluorescens* isolado 83 foi incompatível para clorotalonil nas concentrações de 2000 ppm (2 mL L^{-1}), 1000 ppm (1 mL L^{-1}), 500 ppm ($0,5 \text{ mL L}^{-1}$) e 250 ppm (mL L^{-1}).

Mancozebe (0,1% de concentração) foi altamente tóxico para *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* (Tabela 12), assim como notado por Louis et al. (2016), que obtiveram a incompatibilidade de *P. fluorescens* KAU para mancozebe em quatro diferentes

concentrações (0,005%, 0,1%, 0,2% e 0,3%). Nandini et al. (2018) constataram que a zona de crescimento de diâmetro de colônia de *P. fluorescens* foi inibida em três diferentes concentrações de mancozebe (0,05%, 0,1% e 0,2%). Já, para *Pseudomonas putida* RPF-13 (Pseudomonadales: Pseudomonadaceae), Keshgond; Naik (2014) também atestaram a incompatibilidade da bactéria para mancozebe (0,1% e 0,2% de concentração).

É importante ressaltar que em bioensaios de compatibilidade, deve-se considerar a especificidade das cepas de um mesmo microrganismo, pois essas se comportam de maneiras distintas nos ambientes a que são expostas, não sendo possível generalizar o grau de compatibilidade de um biopesticida, sobretudo, quando as metodologias empregadas diferem quanto à dose, cepas, princípios ativos e meios de cultura (MAZARO et al., 2022).

No bioensaio das caldas associadas, constatou-se 100% de incompatibilidade, já que não houve crescimento vegetativo de *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*, em nenhuma das diluições avaliadas (10^{-4} , 10^{-6} e 10^{-8}) (Tabela 13).

Tabela 13 - Classificação dos tratamentos quanto a compatibilidade de calda com *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*.

Trat.	pH*	UFC/mL		Classificação
		<i>P. fluorescens</i>	<i>P. chlororaphis</i>	
T1	7,0	$4,2 \times 10^4$	$1,4 \times 10^7$	-
T2	5,0	Não desenvolveu	Não desenvolveu	-
T3	6,0	Não desenvolveu	Não desenvolveu	-
T4	5,0	Não desenvolveu	Não desenvolveu	-
T5	5,0	Não desenvolveu	Não desenvolveu	-
T6	5,0	Não desenvolveu	Não desenvolveu	-
T7	5,0	Não desenvolveu	Não desenvolveu	-

T1= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*; T2= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Fluxapiraxade+Piraclostrobina + Espinetoram + Óleo mineral; T3= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Difenconazol+Ciproconazol + Clorotalonil + Tiametoxam+Lambda-cialotrina; T4= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Picoxistrobina+Tebuconazol+Mancozebe+ Indoxacarbe + Clorpirifós; T5= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Mancozebe; T6= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Benzoato de emamectina; T7= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + Alquil éster fosfatado.

Todas as caldas apresentaram pH ácido, diferindo do valor observado para a testemunha (pH=7,0), podendo ser um dos fatores que contribuiu para o não desenvolvimento das bactérias, que requerem um pH mais próximo da neutralidade (ABIHPEC, 2015).

A pulverização de diferentes classes de produtos químicos com entomopatógenos é uma prática comum no manejo de pragas nas lavouras, porém, para ser assertiva necessita do conhecimento prévio acerca da compatibilidade e dos

efeitos adversos dessa interação (BATISTA FILHO; ALMEIDA; LAMAS, 2001). Embora, a mistura de agrotóxicos em tanque, seja autorizada no Brasil, através da Portaria nº 148, de 26 de dezembro de 2017, as implicações acerca da incompatibilidade físico-química e biológica são desconhecidas (TORNISIELO et al., 2013, DELLA VECCHIA et al., 2018). Assim sendo, no país, são escassos dados concernentes a essa tipologia de manejo, sendo essencial o desenvolvimento de pesquisas em condições simuladas para sanar as dúvidas dos produtores e ampliar a conscientização do uso correto de associações de defensivos agrícolas com microrganismos.

A duração do 3º ínstar de *E. heros*, na associação *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + *B. bassiana* foi próximo de cinco dias, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 14). Para os demais ínstaes, não houve diferença significativa para essa variável.

Os dados de período total ($p>0,05$) e razão sexual ($p>0,10$) não foram significativos pelo Teste F (Tabela 14), apesar disso, ficou evidente que o T3 tendeu à maior emergência de fêmeas na população e o T4 maior desenvolvimento de machos.

Tabela 14 - Valores médios ($\pm$ EP) de duração de período ninfal e razão sexual de *E. heros* observados nos tratamentos compatíveis.

Trat.	3º ínstar	4º ínstar	5º ínstar	Período total	Razão sexual
T1	4,119 $\pm$ 0,13 b	5,10 $\pm$ 0,14 a	7,35 $\pm$ 0,11 a	16,56 $\pm$ 0,10	0,61 $\pm$ 0,50
T2	4,653 $\pm$ 0,11 ab	4,68 $\pm$ 0,15 a	7,26 $\pm$ 0,21 a	17,08 $\pm$ 0,28	0,52 $\pm$ 0,05
T3	4,166 $\pm$ 0,17 b	5,67 $\pm$ 0,21 a	6,75 $\pm$ 0,85 a	16,58 $\pm$ 0,75	0,75 $\pm$ 0,11
T4	4,937 $\pm$ 0,23 a	5,59 $\pm$ 0,10 a	7,47 $\pm$ 0,72 a	18,00 $\pm$ 0,28	0,47 $\pm$ 0,07
	$p<0,001$	$p<0,01$	$p<0,01$	$p>0,05^{ns}$	$p>0,10^{ns}$

T1= Água destilada; T2= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*; T3= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + indoxacarbe; T4= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + *B. bassiana*. Médias seguidas por mesma letra na coluna são consideradas iguais estatisticamente pelo teste de Tukey ($p\leq 0,05$). ^{ns}Não significativo pelo Teste F.

Ao avaliar os parâmetros reprodutivos de *E. heros*, observou-se que o número de ovos por fêmea foi drasticamente reduzido, quando os insetos foram expostos às associações *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + indoxacarbe e *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + *B. bassiana* (Tabela 15), limitando a oviposição em 67,05% e 53,23%, respectivamente. Já, em relação à fertilidade verificou-se que a eclosão só foi afetada no tratamento com indoxacarbe e que o fungo *B. bassiana* não interferiu nesse parâmetro.

Diante das variáveis analisadas, constatou-se a ausência de bioatividade de *P.*

fluorescens e *P. chlororaphis* sobre ninfas e adultos de percevejo-marrom, indicando que os resultados obtidos nos tratamentos *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + indoxacarbe e *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + *B. bassiana*, provavelmente, ocorreram devido aos produtos comerciais associados e não às bactérias.

Tabela 15 - Valores médios ($\pm$ EP) dos parâmetros reprodutivos de *E. heros* observados nos tratamentos compatíveis.

Parâmetros	Tratamentos ¹			
	T1	T2	T3	T4
Fecundidade²	261,3 $\pm$ 21,89 a	237,6 $\pm$ 20,54 a	86,1 $\pm$ 17,91 b	122,2 $\pm$ 15,35 b
Fertilidade³	52,35 $\pm$ 5,58 a	53,80 $\pm$ 3,44 a	11,84 $\pm$ 5,13 b	39,65 $\pm$ 7,61 a
	<i>p</i> <0,01	<i>p</i> <0,01	<i>p</i> <0,01	<i>p</i> <0,01

¹Médias seguidas por mesma letra na linha são consideradas iguais estatisticamente pelo teste de Tukey (*p*<0,01). T1= Água destilada; T2= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis*; T3= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + indoxacarbe; T4= *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* + *B. bassiana*.²Número de ovos totais.

³Percentual de viabilidade de ovos.

O inseticida indoxacarbe é registrado para uso no controle de lagartas desfolhadoras (ordem Lepidoptera) em diversas culturas agrícolas (AGROFIT, 2023). Tal i.a. pertence ao grupo químico das oxadiazinas, sendo que seu efeito inseticida ocorre através da ação de enzimas (provavelmente esterases/amidases) presentes no corpo do inseto e que formam o metabólito N-decarbometoxilado, que bloqueia os canais de sódio, dando início aos sintomas de neurointoxicação, que vai desde convulsões até paralisia, seguida da morte do inseto (SPARKS; NAUEN, 2015; SPARKS et al., 2020).

Apesar da escassez de informações quanto ao uso de indoxacarbe no controle de *E. heros*, já existem relatos do efeito desse i.a. em outros hemípteros, principalmente, os classificados como predadores. Batista et al. (2022) observaram uma taxa de sobrevivência de apenas 0,1% de *Podisus distinctus* (Hemiptera: Pentatomidae) tratado com 6,11 g L⁻¹ de indoxacarbe, o qual afetou a alimentação e a locomoção dos indivíduos, levando-os à morte por hiperexcitação. Em bioensaios conduzidos com *Podisus maculiventris* (Hemiptera: Pentatomidae), Tillman; Mullinix Junior (2004) notaram 97,5% e 87,5% de mortalidade, respectivamente, em ninfas e adultos, aos 4 dias após a exposição ao indoxacarbe.

O entomopatógeno *B. bassiana* não interferiu no desenvolvimento das ninfas de *E. heros*, apesar de ter sido compatível nos testes *in vitro*. Em adultos, por sua vez,

reduziu o número de ovos (Tabela 15). No entanto, em nenhuma das fases de desenvolvimento de *E. heros*, visualizou-se a esporulação do fungo *B. bassiana*, que é caracterizada pela presença de uma camada pulverulenta de cor branca, nos insetos mortos (ZAMBIAZZI et al., 2011).

Ademais, inexistem dados relacionados a compatibilidade entre *P. chlororaphis* e outros defensivos, bem como, a sua aplicabilidade no controle de insetos-praga, principalmente, ao percevejo-marrom. Logo, os índices aqui observados, servirão de suporte e direcionamento em pesquisas futuras empregando espécies de *Pseudomonas* em ensaios laboratoriais e de campo. Desse modo, nota-se a imprescindibilidade de executar bioensaios dessa tipologia, objetivando compreender o efeito de diferentes associações de químicos com bioinseticidas e, que futuramente, podem ser agregados em um programa de MIP (GUETSKY et al., 2002; ROSSI-ZALAF et al., 2008).

4. CONCLUSÃO

Diante dos resultados, ficou evidente a incompatibilidade entre as cepas de *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* com a maioria dos defensivos registrados para a cultura da soja, os quais foram altamente tóxicos, inibindo o crescimento vegetativo das bactérias e inviabilizando a indicação à campo.

Por fim, as bactérias aqui estudadas foram inócuas ao percevejo-marrom, pois não interferiram no desenvolvimento de ninfas e adultos da referida praga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIHPEC. Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. **Panorama do Setor de HPPC - 2015**. Disponível em: <https://www.abihpec.org.br/novo/wp-content/uploads/2015-PANORAMA-DO-SETOR-PORTUGU%C3%8AS-11ago2015.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2023.

AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 01 ago. 2023

BATISTA FILHO, A.; ALMEIDA, J. E. M.; LAMAS, C. Effect of thiamethoxam on entomopathogenic microorganisms. **Neotropical Entomology**, v. 30, p. 437-447, 2001. DOI: [10.1590/S1519-566X2001000300017](https://doi.org/10.1590/S1519-566X2001000300017)

BATISTA, C. H. *et al.* Indoxacarb effects on non-target predator, *Podisus distinctus* (Hemiptera: Pentatomidae). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 20, p. 29967-29975, 2022. DOI: [10.1007/s11356-021-17988-0](https://doi.org/10.1007/s11356-021-17988-0)

BORGES, J. V. O. *et al.* Virulence of Entomopathogenic Nematodes against Neotropical Brown Stink Bug (*Euschistus heros* [Fabricius], Hemiptera, Pentatomidae) and Compatibility with Phytosanitary Products under Laboratory Conditions. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 25, n. 5, p. 1209-1220, 2023. DOI: [10.22034/jast.25.5.1209](https://doi.org/10.22034/jast.25.5.1209)

BORGES, M. *et al.* **Metodologias de criação e manejo de colônias de percevejos da soja (Hemiptera - Pentatomidae) para estudos de comportamento e ecologia química**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos, 182).

BUENO, A. de. F. *et al.* Inimigos naturais das pragas da soja. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Eds.). **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Brasília; DF: Embrapa, 2012. p. 493-629.

CORRÊA-FERREIRA, B. S.; OLIVEIRA, E. B. Utilização de parasitos no controle de percevejos. In: EMBRAPA. **Resultados de pesquisa de soja 1981/82**. Londrina: EMBRAPA, 1982. p. 286-290.

DALLA NORA, D. *et al.* Isolation and evaluation of entomopathogenic fungi against the neotropical brown stink bug *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae) under laboratory conditions. **Biocontrol Science and Technology**, v. 31, n. 1, p. 22-34, 2020. DOI: [10.1080/09583157.2020.1826904](https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1826904)

DAS, A. C. *et al.* Influence and persistence of phorate and carbofuran insecticides on microorganisms in rice field. **Chemosphere**, v. 53, n. 8, p. 1033-1037, 2003. DOI: [10.1016/S0045-6535\(03\)00713-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00713-6)

DEVI, K. K.; KOTHAMASI, D. *Pseudomonas fluorescens* CHA0 can kill subterranean termite *Odontotermes obesus* by inhibiting cytochrome C oxidase of the termite respiratory chain. **FEMS Microbiology Letters**, v. 300, n. 2, p. 195-200, 2009. DOI: [10.1111/j.1574-6968.2009.01782.x](https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2009.01782.x)

DELLA VECHIA, J. F.; FERREIRA, M. C.; ANDRADE, D. J. Interaction of spirodiclofen with insecticides for the control of *Brevipalpus yothersi* in citrus. **Pest Management Science**, v. 74, n. 11, p. 2438-2443, 2018. DOI: [10.1002/ps.4918](https://doi.org/10.1002/ps.4918)

DHANYA, M. K. *et al.* Compatibility of *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescens* with plant protection chemicals and fertilizers in cardamom. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 54, n. 2, p. 129-135, 2016.

FERNANDEZ, D.; TORASSA, M.; PÉREZ, M. A. Evaluación de la compatibilidad in vitro de microorganismos (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* y *Trichoderma atroviride*) con fungicidas comerciales, para la producción sustentable de maní. **South American Sciences**, v. 2, s/n, s/p, 2021. DOI: [10.52755/sas.v2iedesp2.112](https://doi.org/10.52755/sas.v2iedesp2.112)

FLURY, P. *et al.* Antimicrobial and insecticidal: Cyclic lipopeptides and hydrogen cyanide produced by plant-beneficial *Pseudomonas* strains CHA0, CMR12a, and PCL1391 contribute to insect killing. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. 100, p. 1–15, 2017. DOI: [10.3389/fmicb.2017.00100](https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00100)

GANGWAR, G. P. Compatibility of Bacterial Bioagent of Bacterial Leaf Blight of Rice with Chemical Pesticides, Commonly Used in Rice Cultivation. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, v. 2, n. 2, p. 156-159, 2013.

GAZZIERO, D. L. P. Misturas de agrotóxicos em tanque nas propriedades agrícolas do Brasil. **Planta Daninha**, v. 33, n. 1, p. 83-92, 2015. DOI: [10.1590/S0100-83582015000100010](https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000100010)

GUETSKY, R. *et al.* Improving biological control by combining biocontrol agents each with several mechanisms of disease suppression. **Phytopathology**, v. 92, n. 9, p. 976–985, 2002. DOI: [10.1094/PHYTO.2002.92.9.976](https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.9.976)

GOLIN, V. **Incidência natural, biologia, seletividade e efeito de liberações inoculativas de parasitoides de ovos (Hymenoptera: Platygasteridae) no controle de *Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae) no Mato Grosso**. 2014. 106 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

HANUMAN, L. N.; MADHAVI, G. B. Compatibility of *Pseudomonas fluorescens* with pesticides *in vitro*. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 7, n. 3, s/p, 2018. DOI: [10.20546/ijcmas.2018.703.381](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.381)

KARTHIBA, L. *et al.* PGPR and entomopathogenic fungus bioformulation for the synchronous management of leafhopper pest and sheath blight disease of rice. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 66, n. 5, p. 555-564, 2010. DOI: [10.1002/ps.1907](https://doi.org/10.1002/ps.1907)

KESHGOND, R. S.; NAIK, M. K. Studies on Compatibility of *Pseudomonas putida* with Fungicides, Insecticides and Plant Extracts. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v. 8, n. 1, p. 767-770, 2014.

KHAN, M. A.; GANGOPADHYAY, S. Efficacy of *Pseudomonas fluorescens* in controlling root rot of chickpea caused by *Macrophomina phaseolina*. **Journal of Mycology and Plant Pathology**, v. 38, n. 3, p. 580-587, 2008.

KNAAC, N. *et al.* Interações de *Bacillus thuringiensis* e o controle de fitopatógenos. **Biotechnologia Ciências e Desenvolvimento**, v. 11, n. 38, p. 1-6, 2009.

KUPFERSCHMIED, P.; MAURHOFER, M.; KEEL, C. Promise for plant pest control: root-associated pseudomonads with insecticidal activities. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-17, 2013. DOI: [10.3389/fpls.2013.00287](https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00287)

LOUIS, V. *et al.* Compatibility of *Pseudomonas fluorescens* with Fungicides used in Banana Cultivation. **International Journal of Agriculture Innovations and**

Research, v. 5, n. 3, p. 487-488, 2016.

LOPER, J. E. *et al.* Rhizoxin analogs, orfamide A and chitinase production contribute to the toxicity of *Pseudomonas protegens* strain Pf-5 to *Drosophila melanogaster*. *Environ Microbiol*, v. 18, n. 10, p. 3509-3521, 2016. DOI: [10.1111/1462-2920.13369](https://doi.org/10.1111/1462-2920.13369)

MAZARO, S. M. *et al.* Desafios na adoção de bioinsumos. In: MEYER, M. C. *et al.* (Eds.). **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília: Embrapa, 2022. p. 75-84.

MERJAN, A. F.; ABBAS, B. M.; HUSSEINI, A. Y. A. *Pseudomonas fluorescence* Bio - compatibility with Chemical fungicide Carboxin 75 and Raxil 2DS to control corn seedling blight causing by *Fusarium graminearum*, *F. moniliforme* and *F. poliferatum*. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1294, n. 9, s/p, 2019.

NAIK, M. K. Compatibility of *Pseudomonas fluorescens* (PF-4) with fungicides, insecticides and plant products. **Bioinfolet**, v. 10, n. 2, p. 620-622, 2013.

NANDINI, M. L. N. *et al.* Compatibility of different insecticides USD in turmeric cultivation with combination of biocontrol agents under *in vitro* conditions. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 4, p. 1190-1194, 2018.

OTSU, Y. *et al.* Stable phylloplane colonization by entomopathogenic bacterium *Pseudomonas fluorescens* KPM-018P and biological control of phytophagous ladybird beetles *Epilachna vigintioctopunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 14, n. 5, p. 427-439, 2004. DOI: [10.1080/09583150410001683538](https://doi.org/10.1080/09583150410001683538)

PAL, K. K. *et al.* Suppression of maize root diseases caused by *Macrophomina phaseolina*, *Fusarium moniliforme* and *Fusarium graminearum* by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, v. 156, n. 3, p. 209-223, 2001. DOI: [10.1078/0944-5013-00103](https://doi.org/10.1078/0944-5013-00103)

PRADEBON, L. C. *et al.* Inseticidas biológicos alternativas eficientes para o controle de insetos-praga em culturas agrícolas e hortícolas. **Revista Delos**, v. 16, n. 49, p. 3512-3536, 2023. DOI: [10.55905/rdelosv16.n49-001](https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n49-001)

PITTA, R. M. *et al.* Suscetibilidade de *Euschistus heros* (Fabr. 1794) (Heteroptera: Pentatomidae) a inseticidas em Mato Grosso. **Scientific Electronic Archives**, v. 11, n. 3, p. 1-5, 2018.

R CORE TEAM. 2023. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: [<https://www.R-project.org/>](https://www.R-project.org/). Acesso em: 10 set. 2023.

RIBEIRO, F. de. C. *et al.* Manejo com inseticidas visando o controle de percevejo marrom na soja intacta. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 3, n. 2, p. 48-53, 2016. DOI: [10.32404/rean.v3i2.1132](https://doi.org/10.32404/rean.v3i2.1132)

ROGGIA, S. *et al.* **Eficiência de inseticidas no controle do percevejo-marrom (*Euschistus heros*) em soja, na safra 2018/2019: resultados sumarizados de**

ensaios cooperativos. Londrina: Embrapa Soja, 2019. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 154).

ROSSI-ZALAF, L. S. *et al.* Interação de micro-organismo com outros agentes de controle de pragas e doenças. *In*: ALVES, S. B.; LOPES, R. B. (Eds.). **Controle microbiano de pragas na América Latina: avanços e desafios.** Piracicaba: FEALQ, 2008. p. 279–302.

RUFFNER, B. *et al.* Oral insecticidal activity of plant-associated pseudomonads. **Environmental Microbiology**, v. 15, n. 3, p. 751–763, 2013. DOI: [10.1111/j.1462-2920.2012.02884.x](https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2012.02884.x)

SILVA, F. A. C. *et al.* Feeding Activity, Salivary Amylase Activity, and Superficial Damage to Soybean Seed by Adult *Edessa meditabunda* (F.) and *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae). **Neotropical Entomology**, v. 41, n. 5, p. 386-390, 2012. DOI: [10.1007/s13744-012-0061-9](https://doi.org/10.1007/s13744-012-0061-9)

SMANIOTTO, L. F.; PANIZZI, A. R. Interactions of selected species of stink bugs (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae) from leguminous crops with plants in the Neotropics. **The Florida Entomologist**, v. 98, n. 1, p. 7-17, 2015. DOI: [10.1653/024.098.0103](https://doi.org/10.1653/024.098.0103)

SINDHURA, K. A. V. Compatibility of biopesticides with insecticides in IPM. **Indian Journal of Entomology**, v. 82, n. 3, p. 588-592, 2020. DOI: [10.5958/0974-8172.2020.00146.7](https://doi.org/10.5958/0974-8172.2020.00146.7)

SINGH, A. *et al.* Study of compatibility of novel fungicides against various biocontrol agents used in grapes. **Journal of Mycopathological Research**, v. 60, n. 1, p. 33-39, 2022.

SINGH, M. *et al.* *In vitro* compatibility of *Pseudomonas fluorescens* with systemic weedicides. **The Pharma Innovation Journal**, v. 10, n. 3, p. 920-923, 2021. DOI: [10.920-923](https://doi.org/10.920-923)

SPARKS, T. C. *et al.* Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification - a tool for resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 167, p.104587, 2020. DOI: [10.1016/j.pestbp.2020.104587](https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104587)

SPARKS, T. C.; NAUEN, R. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 121, p.122-128, 2015. DOI: [10.1016/j.pestbp.2014.11.014](https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014)

SPESCHA, A. *et al.* Combining entomopathogenic *Pseudomonas* bacteria, nematodes and fungi for biological control of a below-ground insect pest. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 348, p. 108414, 2023. DOI: [10.1016/j.agee.2023.108414](https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108414)

SURENDRAN, M. *et al.* Compatibility of *Pseudomonas fluorescens* with agricultural chemicals. **Journal of Biological Control**, v. 26, n. 2, p. 96-99, 2012. DOI:

[10.18311/jbc/2012/3517](https://doi.org/10.18311/jbc/2012/3517)

TEOH, M.; FURUSAWA, G.; SINGHAM, G. V. Multifaceted interactions between the pseudomonads and insects: Mechanisms and prospects. **Archives of Microbiology**, v. 203, n. 5, p. 1891-1915, 2021. DOI: [10.1007/s00203-021-02230-9](https://doi.org/10.1007/s00203-021-02230-9)

TILLMAN, P. G.; MULLINIX JUNIOR, B. G. Comparison of Susceptibility of Pest *Euschistus servus* and Predator *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae) to Selected Insecticides. **Biological and Microbial Control**, v. 97, n. 3, p. 800-806, 2004. DOI: [10.1093/jee/97.3.800](https://doi.org/10.1093/jee/97.3.800)

TORNISIELO, V. L. *et al.* Pesticide Tank Mixes: An Environmental Point of View. In: PRICE, A. J.; KELTON, J. A. (Eds.). **Herbicides - Current Research and Case Studies in Use**. London: IntechOpen, 2013. p. 473-487.

VAN LENTEREN, J. *et al.* Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, n. 1, p. 39-59, 2018. DOI: [10.1007/s10526-017-9801-4](https://doi.org/10.1007/s10526-017-9801-4)

VEIGA, A. C. P. **Compatibilidade entre produtos químicos e biológicos à base de *Bacillus thuringiensis* Berliner no controle de *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae)**. 2014. 88 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

ZAMBIAZZI, E. V. *et al.* Controle biológico *in-vitro* do percevejo-marrom (*Euschistus heros*) com *Beauveria bassiana*. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 3, p. 43-48, 2011. DOI: [10.0000/rtcab.v6i2.534](https://doi.org/10.0000/rtcab.v6i2.534)

ZAMULE, S. M. *et al.* Bioremediation potential of select bacterial species for the neonicotinoid insecticides, thiamethoxam and imidacloprid. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 209, n. 5, p. 111814, 2021. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2020.111814](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111814)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estimativas obtidas quanto ao IRA dos inseticidas servirão como base no planejamento agrícola de uma lavoura, de maneira a selecionar o emprego seguro e assertivo dos agrotóxicos registrados para o manejo de insetos-praga na cultura da soja. Ficou claro, ainda, a baixa diversidade de sítios de ação registrados ao controle de sugadores, o que dificulta a execução de um eficiente programa de manejo de resistência. Logo, espera-se que o IRA favoreça a mitigação dos impactos adversos que advém do uso indiscriminado de defensivos químicos, tencionando a conservação do meio ambiente.

Quanto aos bioensaios *in vitro*, constatou-se a incompatibilidade entre *P. fluorescens*+*P. chlororaphis* com herbicidas, fungicidas, adjuvantes e certos inseticidas, nas condições laboratoriais aqui estudadas. Espera-se que as informações observadas orientem os produtores agrícolas no que concerne a integração correta de diferentes ferramentas de manejo. Além disso, sugere-se a continuidade de estudos com as bactérias anteriormente comentadas, posto que existe uma escassez de resultados efetivos e práticos nos sistemas agrícolas brasileiros.