

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Tese

**Isca tóxica no manejo de *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (Lepidoptera:
Noctuidae) em laboratório.**

José Gomes da Silva Filho

Pelotas, 2023

José Gomes da Silva Filho

**Isca tóxica no manejo de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera:
Noctuidae) em laboratório.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências (Área de conhecimento: Entomologia).

Orientador: Prof. Dr. Daniel Bernardi

Coorientador: Dr. Oderlei Bernardi

Dr. Cesar Auguste Badji

Dr. Ruben Machota Junior

Pelotas, 2023

Ficha biblioteca

José Gomes da Silva Filho

Isca tóxica no manejo de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em laboratório

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciências (área de conhecimento Entomologia), Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – FAEM, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 21/12/2023

Banca examinadora:

Prof. Dr. Daniel Bernardi (Orientador)
Doutor em Entomologia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
Universidade de São Paulo

Dr. Dori Edson Nava
Doutor em Entomologia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,
Universidade de São Paulo

Dr^a. Ana Paula Schneid Afonso da Rosa
Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Cesar Auguste Badji
Doutor em Entomologia pela Universidade Federal de Viçosa

Dr. Ruben Machota Junior
Doutor em Fitossanidade (Entomologia) pela Universidade Federal de Pelotas

**Dedico este estudo
a minha família, em especial,
aos meus irmãos,
Rafael, Rafaela, Renata e Raquel, que
sempre estiveram comigo nesta jornada.**

Agradecimentos

Talvez esse agradecimento seja um dos mais diferentes que você leitor desta tese esteja fazendo. Talvez ele seja diferente, por que sai dos moldes quadrados que estamos acostumados a fazer, seja por estética, comodidade ou por algo que não sabemos explicar. Embora boa parte dele ainda esteja na caixinha da comodidade, resolvi fazê-lo de forma diferente já que boa parte da tese é regida por normas, porém devo concordar que esse espaço é meu. Meu no sentido de expressar minha gratidão, meus desolamentos, minhas amizades, meus momentos felizes e tristes. Então, aqui eu quebro o ciclo ou parte deste ciclo da comodidade estrutural do que é praticado nos trabalhos acadêmicos.

Agradecer a si próprio numa sociedade consumista e de aprovação por terceiros parece entoar o egoísmo e a prepotência, todavia, o convido a refletir para os quatro anos que antecederam esse momento. Passamos por um evento pandêmico e estar aqui escrevendo este material que você lê é dádiva, esforço, paciência e obstinação. Ter a sensibilidade para o autocuidado é primazia, reconhecer seu esforço é autoconhecimento de seu trabalho e de suas virtudes. Como disse o filósofo Pierre Bourdieu “Os circuitos de consagração social serão tanto mais eficazes quanto maior a distância do objeto consagrado” Embora seu comentário seja socialmente justo, ele nos afasta do indivíduo que idealizou e realizou o objeto consagrado.

Em tempos tão difíceis, um aconchego à própria alma não nos tornam imprudentes, nos tornam mais donos dos nossos sentimentos, e por fim, nos tornam mais afetuosos e gratos pelas batalhas que resolvemos aceitar. Aprenda a ser mais leve com você, tenha mais gratidão por cada batalha ganha ou perdida. O autoelogio não pode ser visto ou tido como o “insuperável ou o intocável” do conhecimento ou habilidades, mas sim, a gratidão por tudo que você viveu e alcançou para se tornar realizado para este momento de vitória.

Agradeço em primazia a Deus pela força, obstinação, paciência e acima de tudo o conforto de uma mente bagunçada que sempre me trazia aos meus objetivos.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de Doutorado.

Estendo os meus agradecimentos em nome do Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade à Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade dos estudos, conhecimentos gerados e espaço físico que foram essenciais para o desenvolvimento da tese e crescimento pessoal e profissional.

Aos professores, pesquisadores e colaboradores do PPG Fitossanidade pela atenção e ensinamentos.

Ao meu orientador Professor Dr. Daniel Bernardi pelo incentivo, amizade e acolhimento ao longo desses quatro anos.

Agradeço também a equipe de funcionários e terceirizados da UFPel pelos serviços prestados.

À minha família Marinalva, Rafael, Rafela, Renata, Raquel e Endrio assim como, aos meus avós Maria e Pedro, e aos meus sobrinhos Pietro, Rebeca, Steffany e Maria Tereza por acreditar no meu propósito e me fazerem perceber que todo o esforço valeu a pena.

Aos amigos feitos na UFPel, em especial, os que passaram pelo Laboratório de Biologia de Insetos (LABIO), Paloma Stüpp, Táis Della Nora, Marcelo Zaksessi, Letícia Medeiros, Larissa Pasqualotto, Juarez Alves, Julia Peralta, Eduarda Ferreira e João Escher. Aos amigos de origem regional que encontrei por Pelotas, Jefferson Pedro e Vínicius Carneiro que tornaram a estada na cidade mais proveitosa.

Agradecimento muito especial ao parceiro de batalhas diárias na manutenção das criações, na lavagem de vidrarias e nas aventuras dos experimentos noturnos e aos finais de semana, agradeço ao grande amigo Otávio Ribeiro Duarte que por muitas vezes também foi psicólogo e partilhou das minhas loucuras e desânimos.

Em nome do Ruben Machota Jr., Lígia Caroline Bortoli e do pequenino Benjamin agradeço a ISCA Tecnologias pela oportunidade de realizar bioensaios no Mato Grosso. Além disso, agradeço pela estada, companhia, confiança e aprendizados.

As minhas psicólogas Bruna Borba e Célia Dachery pelas palavras e orientações ao longo destes últimos dois anos que foram essenciais para me ajudar na organização da vida profissional e pessoal após o período turbulento pandêmico e pós-pandêmico.

Resumo

SILVA FILHO, José Gomes da. **Isca tóxica no manejo de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em laboratório.** 2023. 100f. Tese (Doutorado em Ciências: Entomologia) – Programa de Pós-graduação em Fitossanidade, FAEM, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023. A *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é considerada a principal praga da cultura do milho devido à voracidade das lagartas e sua ocorrência ao longo de todo o ciclo de cultivo. As principais táticas de manejo da *S. frugiperda* tem sido o uso de inseticidas sintéticos e os cultivos *Bt*. Todavia, problemas de evolução de resistência às duas principais tecnologias têm comprometido sua eficiência. Neste cenário, introduzir novas ferramentas de manejo baseadas na modificação de comportamento possibilita o controle efetivo da *S. frugiperda*, assim como, a extensão do uso destas tecnologias de maneira sustentável e de menor impacto ambiental. O presente estudo objetivou, i) investigar e propor uma metodologia para avaliação de formulações de isca tóxica no manejo de adultos de *S. frugiperda* em condição de laboratório, e ii) avaliar inseticidas candidatos, sua toxicidade e o efeito residual de formulações de isca tóxica sem ação de chuva sobre adultos de *S. frugiperda*. Foram realizados bioensaios em condições de laboratório avaliando fatores associados à idade do inseto adulto (24, 48 e 72h de emergência), o status de privação alimentar (12 e 24h) e de suscetibilidade e resistência às tecnologias *Bt*. Bioensaios de eficiência do uso da isca tóxica levando em consideração fatores exógenos aos insetos como tempo de oferecimento (4, 6, 8 e 12h), associação da isca tóxica com dieta artificial e o uso de diferentes formulações de atrativas (Noctovi[®], Acttra FAW e Acttra 43 SB) combinados com os inseticidas Clorpirifós, Espinetoram, Clofenapir, Lambda-cialotrina, Zeta-cipermetrina e Clorantraniliprole. Bioensaios de toxicidade e efeito residual seco (3, 7, 15, 21 e 30 dias após a aplicação (DAA) foram testados com o atrativo alimentar Noctovi 43 SB combinados com 12 inseticidas com diferentes modos de ação. Os bioensaios foram realizados com insetos adultos de *S. frugiperda* de 48h de idade e privados de alimento por 24h. Nossos resultados demonstraram que para a idade de 48h, privação alimentar de 24 e 12h de oferecimento da isca tóxica são componentes essenciais para obter resposta adequada em bioensaios com adultos de *S. frugiperda*. Os componentes da isca tóxica (Atrativo + inseticida) também são responsáveis pela eficiência desta ferramenta de controle devido a boa atratividade e rápida incapacitação dos insetos adultos. O uso do inseticida Clorpirifós como componente da isca tóxica apresentou os menores índices de mortalidade. Para a linhagem resistente a tecnologia BTs (Vt Pro) foi obtido mortalidade superior a 60% para as formulações testadas. Nos bioensaios de toxicidade, verificou-se que os inseticidas Metomil, Indoxacarbe e Espinetoram foram os inseticidas mais tóxicos para adultos de *S. frugiperda*. Os inseticidas Tiodicarbe, Malathion, Zeta-cipermetrina e Metoxifenoazida apresentaram as maiores concentrações de ingrediente ativo para obter 90% de mortalidade dos indivíduos adultos. Foi verificado que 11 inseticidas testados nos bioensaios de atividade biológica residual da iscas tóxicas demonstraram mortalidade superior a 70% 30 DAA. Comportamento contrastante foi observado para o inseticida Malationa (54%).

Frente aos resultados encontrados, o uso de isca tóxica se torna uma ferramenta promissora para o manejo de adultos de *S. frugiperda*.

Palavras-chave: Lagarta-do-cartucho, Manejo Integrado de Pragas, Controle Comportamental, Atrai e mata.

Abstract

SILVA FILHO, José Gomes da. **Efficacy of toxic bait in the management of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)(Lepidoptera: Noctuidae) in the laboratory conditions.** 2023. 100f. Thesis Postgraduate Program in Plant Protection, FAEM, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023. *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) is considered the main pest of the corn crop due to the voracity of the caterpillars and their occurrence throughout the crop cycle. The main management tactics for *S. frugiperda* have been the use of synthetic insecticides and *Bts* crops. However, problems with the evolution of resistance to the two main technologies have compromised their effectiveness. In this scenario, introducing new management tools based on behavior modification makes it possible to effectively control *S. frugiperda*, as well as extending the use of these technologies in a sustainable way and with less environmental impact. This study aimed to: i) investigate and propose a methodology for evaluating toxic bait formulations in the management of *S. frugiperda* adults in laboratory conditions, and ii) evaluate candidate insecticides, their toxicity and the residual effect of toxic bait formulations without rain on *S. frugiperda* adults. Bioassays were carried out under laboratory conditions, evaluating factors associated with the age of the adult insect (24, 48 and 72h after emergence), food deprivation status (12 and 24h) and susceptibility and resistance to *Bts*. Bioassays of the efficiency of use of the toxic bait taking into account factors exogenous to the insects such as offering time (4, 6, 8 and 12h), association of the toxic bait with artificial diet and the use of different formulations of attractants (Noctovi[®], Acttra FAW and Acttra 43 SB) combined with the insecticides Chlorpyrifos, Spinetoran, Clofenapyr, Lambda-cyhalothrin, Zeta-cypermethrin and Chlorantraniliprole. Toxicity and dry residual effect bioassays (3, 7, 15, 21 and 30 days after application (DAA)) were tested with the food attractant Noctovi 43 SB combined with 12 insecticides with different modes of action. The bioassays were carried out on adult *S. frugiperda* insects 48 h old and deprived of food for 24 h. Our results showed that 48 hours of age, 24 h of food deprivation and 12 h of offering the toxic bait are essential components for obtaining a more concise response in bioassays with *S. frugiperda* adults. The components of the toxic bait (attractant + insecticide) are also responsible for the efficiency of this control tool. The use of the insecticide Chlorpyrifos as a component of the toxic bait showed the lowest mortality rates. For the strain resistant to *Bts* technology (Vt Pro), mortality of over 60% was obtained for the formulations tested. The toxicity bioassays showed that the insecticides Methomyl, Indoxycarb and Epinetoram were the most toxic to *S. frugiperda* adults. The insecticides Thiodicarb, Malathion, Zeta-cypermethrin and Methoxyfenozide had the highest concentrations of active ingredient to achieve 90% mortality of adult individuals. It was found that 11 insecticides tested in the residual biological activity bioassays of the toxic bait showed mortality of more than 70% 30 DAA. Contrasting behavior was observed for the insecticide Malathion (54%). The use of toxic baits becomes a promising tool to manage *S. frugiperda* adults

Keywords: Armyworm, Integrated Pest Management, Behavioral Control, Attract and kill.

Lista de Figuras Artigo 2

Figura 1 Mortalidade (%) média de adultos de *S. frugiperda* expostos à formulações de isca tóxica com o atrativo alimentar Noctovi® 43 SB em de laboratório

94

Lista de Tabelas Artigo 1

Tabela 1	Inseticidas usados nos bioensaios de avaliação da eficiência de isca tóxica no manejo de <i>Spodoptera frugiperda</i> .	57
Tabela 2	Mortalidade (%) média (\pm EP) de adultos de <i>Spodoptera frugiperda</i> após a exposição a diferentes formulações de isca tóxica com o atrativo alimentar Noctovi® por 4, 6, 8 e 12 h de oferecimento em laboratório.	58
Tabela 3	Mortalidade (%) média (\pm EP) de adultos de <i>Spodoptera frugiperda</i> de 24, 48 e 72 h de emergência expostos a diferentes formulações de isca tóxica com o atrativo alimentar Noctovi® em laboratório.	59
Tabela 4	Mortalidade (%) média (\pm EP) de adultos de <i>Spodoptera frugiperda</i> de 48 h de idade submetidos à privação de alimentar um período de tempo 12 e 24 h e exposto para diferentes formulações de iscas tóxicas com o atrativo alimentar Noctovi® em laboratório.	60
Tabela 5	Mortalidade (%) média (\pm EP) de adultos de <i>S. frugiperda</i> de 48 h de idade expostos a diferentes formulações de iscas tóxicas em laboratório.	61
Tabela 6	Mortalidade (%) média (\pm EP) de adultos de <i>S. frugiperda</i> de 48 h de idade exposto para diferentes formulados de cairomônios para isca tóxica concomitante com dieta artificial (solução de hidromel a 10%) em laboratório.	62

Lista de Tabelas Artigo 2

Tabela 1	Inseticidas candidatos para compor a formulação de isca tóxica em combinação com o atrativo alimentar Noctovi® 43 SB.	91
Tabela 2	Média de concentração letal (CL ₅₀ e CL ₉₀ , em mg i.a. L ⁻¹) de formulações de isca tóxica para o controle de adultos de <i>Spodoptera frugiperda</i> em laboratório.	92
Tabela 3	Mortalidade (%) média de adultos de <i>Spodoptera frugiperda</i> 120h após a exposição para isca tóxica pulverizadas em folhas de algodoeiro e envelhecida em casa de vegetação por 3, 7, 15, 21 e 30 dias após a aplicação.	93

Sumário

1 INTRODUÇÃO	17
Artigo 1: Avaliação de método de bioensaio para investigar a toxicidade de formulações de iscas tóxicas sobre adultos de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae).....	22
Introdução.....	24
Material e métodos.....	27
<i>Insetos.....</i>	<i>27</i>
<i>Bioensaios.....</i>	<i>28</i>
<i>Tempo de exposição da isca tóxica aos adultos de S. frugiperda.....</i>	<i>29</i>
<i>Toxicidade de iscas tóxicas sobre adultos de S. frugiperda em diferentes idades dos insetos</i>	<i>30</i>
<i>Período de privação alimentar antes da exposição de S. frugiperda à isca tóxica</i>	<i>30</i>
<i>Bioensaio com associação de mel e isca tóxica.....</i>	<i>31</i>
<i>Toxicidade de diferentes bases atrativas na formulação de isca tóxica</i>	<i>31</i>
<i>Bioensaio de eficiência de controle da linhagem de S. frugiperda resistente à tecnologia Bt Vt Pro.....</i>	<i>32</i>
Análise estatística	32
Resultados	32
Discussão	35
Agradecimentos	44
Referência	44
Artigo 2: Toxicidade e efeito residual de iscas tóxicas sobre adultos de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae): implicações para o manejo da praga.....	64

Introdução	66
Material e métodos	68
<i>Insetos</i>	68
<i>Inseticidas</i>	69
<i>Bioensaio de seleção de inseticidas</i>	69
<i>Concentração resposta de iscas tóxicas a adultos de S. frugiperda</i>	70
<i>Efeito da ausência de chuva na eficácia de iscas tóxicas em adultos de S. frugiperda</i>	70
Análise estatística	71
Resultados	72
Discussão	73
Agradecimentos	80
Referências	80
2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
3 REFERÊNCIAS	93

1 Introdução

Spodoptera frugiperda (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é uma praga de grande importância econômica e social para o continente Americano por causar perdas econômicas para as culturas agrícolas do milho, soja, algodão e sorgo (BUENO et al., 2011; OVERTON et al., 2021). No Brasil, as perdas causadas são de aproximadamente 52% de rendimento e tem um custo de US\$40/há na cultura do milho (FERREIRA FILHO et al., 2010; VALICENTE, 2015). Considerada uma praga polífaga, a lagarta do cartucho do milho se alimenta de aproximadamente 350 espécies de plantas pertencentes a mais de 70 famílias botânicas (MONTEZANO et al., 2018). Ainda assim, *S. frugiperda* apresenta preferência alimentar por plantas das famílias Poaceae, Asteraceae e Fabaceae (BARROS et al., 2010; MURÚA et al., 2015).

Nativa das Américas, a lagarta do cartucho do milho encontra-se distribuída nas regiões tropicais e subtropicais do continente (EARLY et al., 2018). No entanto, a espécie já foi identificada em 44 países do continente africano (GOERGEM et al., 2016) e recentemente em países da Ásia (Miamar, Tailândia e China) e Oceania (BALOCH et al., 2020). No Brasil, devidos aos sistemas de cultivos das principais commodities agrícolas serem realizados em duas safras ao ano ou em áreas de agricultura irrigada há sempre a ocorrência de altas infestações da *S. frugiperda* (BARROS et al., 2010).

Historicamente, o manejo da *S. frugiperda* é dependente do uso de inseticidas sintéticos e de plantas transgênicas (toxinas *Bts*) (GUTIÉRREZ-MORENO et al., 2020). Embora essas tecnologias apresentem alta eficiência de controle, seu uso intensivo e inadequado tem resultado na seleção de indivíduos resistentes aos principais grupos químicos de inseticidas sintéticos, como, os Organofosforados, Piretróides, Benzoilúreia, Diamidas e Espinosinas (KANNO et al., 2010, CARVALHO et al., 2013, BOLZAN et al., 2019; PAREDES-SÁNCHEZ et al., 2021). Bem como, as tecnologias Bt: Cry1F (BOAVENTURA et al., 2020), Cry1Ab (OMOTO et al., 2016), Cry1Af (FARIAS et al., 2014) e Vip3Aa (BERNARDI et al., 2016).

Diante dos problemas atualmente enfrentados, novas ferramentas de manejo da *S. frugiperda* têm sido adotadas, como, o controle biológico com o uso de parasitoides de ovos (*Trichogramma pretiosum* Riley, 1879

(Hymenoptera: Trichogrammatidae)) e o (*Telenomus remus* Nixon, 1937 (Hymenoptera: Scelionidae)) que tem apresentado bons resultados no controle da espécie *S. frugiperda* em liberações aumentativas (FIGUEIREDO et al., 2015; KENIS, et al., 2019; SALAZAR-MENDOZA et al., 2020; PAREDES-SÁNCHEZ et al., 2021; WENGRAT et al., 2021).

Outras ferramentas biológicas para o manejo *S. frugiperda* tem sido o emprego de agentes entomopatogênicos como microorganismos, nematoides e baculoviroses no controle da praga. As baculoviroses devido à especificidade para o hospedeiro, alta eficiência de controle e segurança para os agricultores e organismos não-alvos (MOSCARDI, 1999; SZEWCZYK et al., 2006). Atualmente algumas cepas de Múltiplo núcleo poliedrovírus tem sido usadas no manejo da *S. frugiperda* (SfMNPV) demonstrando ser uma alternativa para o manejo da resistência a inseticidas sintéticos e as tecnologias *Bts* (BENTIVENHA et al., 2019; ZAKSESKI et al., 2021). Outros microorganismos entomopatogênicos como *Beauveria bassiana* (Bals. -Criv) Vuill (1912) (Ascomycota: Hypocreales) , *Metharhizium rileyi* (Farlow) Kepler, S.A. *Metarhizium anisopliaea* (Metschn) Sorokin (Ascomycota: Clavicipitaceae) e dos nematoides entomopatogênicos da família *Steinernematidae* e *Heterorhabditidae* tem sido empregados efetivamente no controle da praga (GUO et al., 2020; ABBAS et al., 2022).

Além das estratégias de manejo convencionais e dos agentes de controle biológico estratégias de manejo baseada na manipulação do comportamento dos insetos tem sido utilizadas para diversas espécies de insetos, inclusive da ordem Lepidoptera (FOSTER; HARRIS, 1997; GUERRERO et al., 2014). As técnicas de manejo comportamental se baseiam no uso de semioquímicos que são compostos orgânicos voláteis que agem para mediar às interações da comunicação entre os indivíduos da mesma espécie (Intraespecífica) ou de espécies diferentes (intraespecíficas) (REDDY; GUERRERO, 2004; WAYTT, 2014; THÖMING, 2021). Os semioquímicos usados pelos insetos na comunicação intra e interespecíficas são categorizados como feromônios e aleloquímicos (caimônios, alomônios e sinomônios) respectivamente (WYATT, 2014). Os compostos de feromônios são moléculas orgânicas de odor que evocam entre organismos da mesma espécie respostas comportamentais e processos fisiológicos no indivíduo

receptor, como: a) comportamentos sexuais (atração de indivíduos machos ou vice-versa), b) agregação (criando laços), c) alarme (comunicando situações de perigo) e d) trilha (marcando trilhas e ou orientando a navegação) (AGELOPOULOS et al., 1999; SCHRÖDER, HILKER, 2008; WYATT, 2014; ALLISON, CARDÉ, 2016; KANNAN et al., 2022).

Semelhante aos compostos feromônicos, os aleloquímicos apresentam funcionalidades diversas e desencadeiam estímulos nos indivíduos de espécies diferentes. Os aleloquímicos compreendem diferentes categorias de estímulos em função das respostas provocadas em cada espécie quando em contato com estas moléculas odoríferas, como, alomônios (o emissor emite compostos orgânicos voláteis que o beneficia frente ao receptor), cairomônios (o receptor se beneficia do feromônio liberados pelo emissor) e sinomônios (os compostos voláteis beneficiam ambos os indivíduos receptor e emissor) (WYATT, 2014; PITTS et al., 2014; MBALUTO et al., 2020).

Atualmente, o uso de semioquímicos nas estratégias de manejo de insetos-praga agrícolas explorado nas atividades de monitoramento, captura massal e confundimento sexual com o uso de feromônio (WITZGALL et al., 2010; CRUZ-ESTEBAN et al., 2020). Embora sejam altamente específicos e seguros para os ecossistemas agrícolas, os feromônios sexuais são utilizados na maioria dos casos para atrair e confundir indivíduos machos nas áreas tratadas reduzindo às chances de cópula com as fêmeas (CHARMILLOT et al., 2000; RIZVI et al., 2021).

Contrariamente ao feromônios sexuais, as moléculas orgânicas voláteis (cairomônios) presentes no ambiente e derivadas do metabolismo das plantas têm sido usadas para monitorar e controlar insetos adultos através da aplicação de iscas tóxicas nas áreas de cultivos (CHARMILLOT et al., 2010; GREGG et al., 2018). Estas formulações obtidas a partir de compostos cairomônicos podem ser usadas para atrair, estimular, repelir ou deterrente o comportamento alimentar e de oviposição de insetos-praga (MENSAH et al., 2013). Na atualidade, atrativos cairomonais de plantas tem sido usados para manejar pragas agrícolas por meio da técnica do atraíemata com o uso de isca tóxica. Este sistema de manejo usa formulações orgânicas atrativas, em especial, compostos orgânicos voláteis de plantas, componentes

fagoestimulantes (frutose, sacarose) e um agente letal, que na maioria dos casos é um inseticida sintético (GREGG et al., 2018).

No Brasil as iscas tóxicas formuladas a partir de compostos vegetais têm sido usadas para o manejo de diversas espécies de insetos, como a mosca-das-frutas com o uso dos atrativos alimentares Anamed[®] (ISCA Tecnologias) (BORGES et al., 2015), e as iscas tóxicas de pronto-uso Gelsura[®] (BASF) (BARONIO et al., 2023) e Success (Corteva). Recentemente, os atrativos alimentares Noctovi[®] (ISCA Tecnologias) e Chamariz[®] (AgBitech) têm sido empregados no manejo dos noctuídeos (*S. frugiperda* e *Helicoverpa armigera* (Hübner)) pragas em cultivos extensivos (JUSTIANO et al., 2021; CABRAL, COSTA, 2023).

As iscas tóxicas são estratégias de manejo que apresentam potenciais vantagens em relação ao uso de feromônios sexuais, inseticidas sintéticos, além da possibilidade do uso combinado com plantas geneticamente modificadas *Bt*s (MENSAH et al., 2010; JUSTIANO et al., 2021). O uso de iscas tóxicas apresenta diversas características benéficas, como, especificidade para espécie, serem seguras aos ecossistemas agrícolas, reduzir aplicações de inseticidas em área total, apresentar baixa concentração de ingrediente ativo (i.a.) dos inseticidas sintéticos, auxiliar a reduzir a densidade populacional de ambos os sexos da praga na área de cultivo, redução da densidade populacional de estágios imaturos da praga que causam danos aos cultivos e apresentar baixa atratividade para organismos benéficos e (WYATT et al., 2010; GREGG et al., 2016).

Neste sentido, a adoção de atrativos alimentares formulados a partir de compostos orgânicos vegetais associados à técnica do atrai e mata tem demonstrado grande importância como estratégia de manejo de espécies de lepidópteros, em especial da *S. frugiperda* (JUSTIANO, FERNANDES, 2020; JUSTIANO et al., 2021). Estes compostos também têm sido empregados eficientemente no manejo da resistência da *H. armigera* em áreas de cultivos *Bt*s em regiões da Austrália e China (Gregg et al., 2022; CRDC, 2023; WANG et al., 2023). Assim, os objetivos desse trabalho foram investigar e propor uma metodologia para avaliação de formulações de isca tóxica no manejo de adultos de *S. frugiperda* em condição de laboratório, e avaliar inseticidas

candidatos, sua toxicidade e o efeito residual de formulações de isca tóxica em ambiente protegido sobre adultos de *S. frugiperda*.

Artigo 1 - A ser submetido à revista Neotropical Entomology
(Versão em português)

Silva Filho *et al.*:
Avaliação de método de bioensaio
Para investigar a toxicidade de formulações
de iscas tóxicas sobre adultos de *Spodoptera*
frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae)

Neotropical Entomology
Seção: Manejo de pragas

Daniel Bernardi
Departamento de Fitossanidade
Universidade Federal de Pelotas
Pelotas, RS, Brazil
Zip code 96010970
Tel. +55 (53) 98135-6566
E-mail: dbernardi2004@yahoo.com.br

Avaliação de método de bioensaio para investigar a toxicidade de formulações de iscas tóxicas sobre adultos de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

José Gomes da Silva Filho¹, Otávio Ribeiro Duarte², Paloma Stüpp¹, Larissa
Pasqualotto¹, Juarez da Silva Alves¹, Julia Peralta Ferreira², Lígia Caroline Bortoli³,
Ruben Machota Junior³, Daniel Bernardi^{1,2}.

¹ Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas,
Pelotas, RS, Brasil

² Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Capão do
Leão, RS, Brasil

³ ISCA Tecnologias, Ijuí, RS, Brasil

*Autor correspondente

Daniel Bernardi

E-mail: dbernardi2004@yahoo.com.br

Resumo – Compreender os fatores biológicos que atuam sobre o comportamento de insetos adultos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é crucial para o desenvolvimento de estratégias de manejo tendo como base o uso de caimomônios em atrativos alimentares. A técnica atrai e mata usada para atrair e controlar pragas agrícolas pode sofrer alterações de sua eficiência em função do estado fisiológico e comportamental dos insetos adultos, assim como, das características associadas às formulações bases do atrativo e do agente letal (inseticida) usado. O objetivo do estudo foi desenvolver um método de bioensaio com o uso do atrativo alimentar Noctovi[®] e suas diferentes formulações com inseticidas sobre a mortalidade de adultos de *S. frugiperda*. Os parâmetros associados às condições fisiológicas de adultos de *S. frugiperda* como idade (48 horas = > 60% mortalidade), privação alimentar (24 horas = 70% mortalidade) e o tempo de oferecimento (12 horas > 50% de mortalidade) demonstraram influenciar positivamente a suscetibilidade dos indivíduos adultos de *S. frugiperda* às formulações da isca tóxica. Todavia, exceção foi verificada na formulação da isca tóxica em mistura com o inseticida Clorpirifós Nortox, obtendo-se mortalidade inferior a 60% para os parâmetros avaliados. Para a variável presença ou ausência de dieta artificial oferecida constantemente foi verificada mortalidade $\geq 70\%$, exceto para as formulações com Clorpirifós Nortox (Noctovi[®], Acttra 43SB e Acttra FAW) e a formulação Acttra 43SB + Karate Zeon 50 CS (com dieta = 53,3%). Para a população resistente a toxina *Bt* (Vt Pro), o uso da isca tóxica se mostrou promissor como ferramenta de manejo de indivíduos adultos obtendo-se mortalidade > 60%. Privação alimentar por 24 h, tempo de oferecimento da isca tóxica por 12 h e ausência de fonte extra de alimento para adultos de *S. frugiperda* de 48 h pós-emergência são as condições adequadas para avaliar formulações de isca tóxica em condições de laboratório.

Palavras-chave: Status fisiológico, semioquímicos, atrai e mata, lagarta do cartucho, MIP

Introdução

Os insetos usam compostos orgânicos voláteis presentes no ambiente para se comunicar intra (feromônios) e interespecificamente (aleloquímicos), desempenhando diferentes tarefas comportamentais (Wyatt 2014). Estes compostos orgânicos os ajudam a localizar plantas hospedeiras, parceiros sexuais, fontes alimentares, habitat e sítios de oviposição através de estímulos fisiológicos gerados a partir do reconhecimento das misturas de odores em indivíduos fisiologicamente aptos (Shorey 1973, Anton *et al* 2006, Schöder e Hilker 2008, Hansson e Wicher 2016, Renou e Anton 2020).

A mensagem química recebida do ambiente pelos insetos pode diferir amplamente na especificidade e gerar comportamentos distintos nos indivíduos. Estes compostos semioquímicos apresentam uma complexidade de moléculas orgânicas que podem ser classificados em feromônios ou aleloquímicos. Os primeiros são substâncias intraespecíficas contribuindo para respostas comportamentais de indivíduos coespecíficos, como, comportamento sexual, agregação e trilha (Shorey 1973, Wyatt 2014, Kannan *et al* 2022). Aleloquímicos, por sua vez, são compostos orgânicos voláteis mais generalizados emanados de outras espécies, como, órgãos florais de plantas, inimigos naturais ou fontes alimentares que tendem a atrair indivíduos de outras espécies (Junker *et al* 2017, Xu e Turlings 2018, Conchou *et al* 2019, Renou e Anton 2020).

As substâncias aleloquímicas são divididas em três categorias a depender do custo-benefício para ambas as espécies envolvidas: alomônios (favorecem o emissor e desfavorecem o receptor), cairomônios (desfavorecem o emissor e favorecem o

receptor) e sinomônios (favorecimento de ambos receptor e emissor) (Norin 2007, Wyatt 2014). Diversas estratégias de manejo com base na utilização de compostos semioquímicos têm sido utilizadas como ferramentas alternativas e promissoras ao uso de inseticidas sintéticos (Thöming 2021, Gajger *et al* 2022). Dentre estas estratégias de manejo comportamental cabe destacar o monitoramento, a confusão, disrupção ou interrupção do acasalamento, atrai e mata, inibição de oviposição, técnica de aniquilamento de machos e captura massal (Agarwal e Sunil 2020). A maioria das técnicas de manejo comportamental utilizam feromônios sexuais. Entretanto, compostos aleloquímicos, em especial, os cairomônios a base de voláteis de plantas têm sido uma alternativa de baixo custo empregada para o manejo comportamental de insetos-praga (Foster e Harris 1997, Nigg *et al* 2002, Murali-Baskaran *et al* 2018, Agarwal e Sunil 2020, Mazzoni e Anfora 2021).

Atualmente alguns produtos a base de cairomônios tem sido empregados como estratégias de manejo de insetos-praga agrícolas associado à técnica do atrai e mata. Esta técnica consiste em atrair e matar os insetos adultos a partir de um composto atrativo combinado com uma armadilha ou um inseticida sintético que promova a morte do inseto (Gregg *et al* 2018). As formulações com base em cairomônios de plantas apresentam vantagens em relação ao uso de feromônios sexuais como ferramenta de manejo comportamental, isto devido, a atratividade generalista, mortalidade de indivíduos machos e fêmeas, redução de estágios imaturos das pragas e redução do uso de inseticidas em aplicações de cobertura ou em área total (Landolt 1997, Camelo *et al* 2007, Gregg *et al* 2018).

Formulações cairomonais de isca tóxicas têm sido usadas para manejar diversas espécies de insetos, como por exemplo, moscas-das-frutas com o uso de proteína hidrolisada ou a isca tóxica de pronto-uso GF-120NF (Vargas *et al* 2002) e o

atrativo a base de voláteis de plantas (Magnet[®]) no manejo de noctuídeos em campos de algodão na Austrália (Gregg *et al* 2016). No Brasil, o atrativo Noctovi[®] (ISCA Tecnologias) tem sido utilizado no manejo dos lepidópteros pertencentes à Família Noctuidae como *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1805), *Chloridea virescens* (Fabricius, 1781) e *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797). Este atrativo é formulado a partir de óleo-resinas e açúcares os quais atraem e estimulam o comportamento alimentar dos insetos. Apesar dos excelentes resultados conseguidos com o uso dos atrativos alimentares, fatores associados ao estado fisiológico dos insetos como idade, privação ou *ad libitum* alimentar, ritmo circadiano e status de cruzamento podem afetar a eficiência de controle das iscas tóxicas devido à variação na percepção dos compostos orgânicos voláteis (Gadenne *et al* 2016, Jin *et al* 2017).

Estes fatores fisiológicos em alguma medida contribuem para modulação das respostas dos insetos aos atrativos alimentares, aumentando ou diminuindo a sua atração para os caimônios de plantas (Anton e Rössler 2021). As modulações observadas no comportamento dos insetos com relação à percepção e uso dos semioquímicos em função do estado fisiológico têm sido observadas em diversas espécies, como *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae) onde constataram-se alterações das respostas olfativas para os odores de fontes alimentares em função do regime alimentar e de seu estado nutricional (Edgecomb *et al* 1994). De acordo com Anton e Cortesero (2022), a taxa de produção e maturação dos ovos contribui para modular a atratividade para os voláteis de plantas e as respostas comportamentais.

Comportamentos de modulação das respostas olfativas também são alterados em função do status de cópula, sendo verificado que as fêmeas cruzadas apresentam maior responsividade para os caimônios vegetais do que aquelas não cruzadas, assim como, com o avanço da idade aumentam a responsividade (Reddy e Guerrero 2004,

Hussain *et al* 2016). Atualmente, são poucas as informações na literatura a respeito dos efeitos dos fatores fisiológicos dos insetos associados à modulação nos padrões olfativos, principalmente lepidópteros, e o impacto desses efeitos sobre as estratégias de manejo baseadas no controle comportamental com o uso dos cairomônios vegetais. Logo, é necessário conhecer como estes fatores fisiológicos podem influenciar no uso das iscas tóxicas e como minimizar possíveis reduções de eficiência no uso destes atrativos.

Dadas às exigências sociais, econômicas e ambientais sobre os sistemas agrícolas com relação ao uso intensivo de inseticidas sintéticos, os agricultores tem empregado novas ferramentas de manejo, mais sustentáveis e equilibradas com os ecossistemas presentes, incluindo a manipulação comportamental dos insetos em culturas anuais e em extensas áreas de cultivo. Embora constatada sua efetividade no manejo de espécies de lepidópteros-pragas nos principais cultivos do Brasil, poucos estudos tem sido conduzidos a respeito da eficiência de atrativos cairomônios à base de plantas sobre insetos adultos em diferentes condições fisiológicas. Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência de controle do atrativo alimentar Noctovi[®] + inseticidas sobre adultos de *S. frugiperda* em diferentes condições fisiológicas.

Material e Métodos

Insetos

Os insetos utilizados nos bioensaios foram oriundos de duas populações de *S. frugiperda*, uma suscetível coletada em milho não-*Bt* durante a safra 2012/2013 em Mogi Mirim, SP, Brasil (22°28'31" S e 46°54'21" W) e outra resistentes a tecnologia *Bt* Vt Pro. A população suscetível é mantida em condições laboratoriais por

aproximadamente 120 gerações em dieta artificial à base de feijão branco, gérmen de trigo e levedura (Adaptada de Greene *et al* 1976). A linhagem resistente é mantida em dieta natural sob pressão de seleção com plantas de milho de var. ‘YR Agroeste 1666’ que expressa as proteínas inseticidas Cry1A.105+Cry2Ab2 por aproximadamente 50 gerações. Os insetos adultos de ambas as populações foram mantidos em gaiolas de cano PVC revestidas com papel como substrato de oviposição e alimentados com uma solução de hidromel a 10% (v/v).

Bioensaios

Os bioensaios foram realizados utilizando gaiolas plásticas de Polietileno Tereftalato (PET) de 500 mL de volume. Em cada gaiola foram acondicionados seis insetos adultos virgens (machos e fêmeas) de *S. frugiperda* virgens. Foi utilizado nos bioensaios o atrativo alimentar Noctovi[®] (ISCA Tecnologias) ((Z)-11-Hexadecenal (Z11-16:Ald); (Z)-9-Hexadecenal (Z9-16; Ald)), não diluído. Como agente letal para a formulação da isca tóxica foram utilizados os inseticidas Delegate[®] (Espinosinas), Karate Zeon 50 CS (Piretroíde), Premio[®] (Diamida antranílica), Clorpirifós Nortox EC (Organofosforado), Mustang[®] 350 EC (Piretroide) e Pirate[®] (Análogo de Pirazol) na concentração de 2,0% do produto comercial (Tabela 1). Após a obtenção da solução, a isca tóxica foi oferecida uma gota de 50 µL depositada sobre uma placa plástica de 20 mm de diâmetro. As iscas foram oferecidas aos insetos adultos no período da escotofase, entre as 18:00 h e 06:00 h. Após o período de oferecimento da isca estabelecido para cada bioensaio, esta foi substituída por uma solução de hidromel a 10% em algodão hidrófilo em recipientes plásticos de 20 mm de diâmetro. Todos os bioensaios foram realizados e mantidos em salas climatizadas com temperaturas de 25 ± 2°C, umidade relativa de 70 ± 10% e fotoperíodo de 12 horas. O tratamento controle foi

estabelecido com insetos da mesma população e mesma idade conforme a realização dos bioensaios. Estes insetos receberam apenas o atrativo alimentar e após o período sugerido de oferecimento da isca para cada bioensaio, substituído por uma solução de hidromel a 10%. Foram realizados bioensaios de: a) Tempo de exposição à isca tóxica; b) Toxicidade de isca tóxica em função da idade; c) Período de privação de alimentar; D) Efeito combinado da isca tóxica presença ou ausência de dieta artificial; e) Efeito de diferentes formulações atrativas e f) Bioensaio de eficiência sobre uma linhagem de *S. frugiperda* resistente a Vt Pro.

As avaliações dos bioensaios foram realizadas após 1, 3, 6, 8, 12, 24, 48, 72, 96 e 120 h de exposição dos insetos às iscas. Diariamente foi registrado o número de insetos mortos por repetição. Foram considerados mortos os insetos imóveis ou que não apresentavam reação de movimento maior que o comprimento do seu corpo ao ser estimuladas com toque de pincel de ponta fina. O consumo da isca tóxica por gaiolas foi estimado através da diferença de pesagem da placa de Polietileno Tereftalato (PET) em balança de precisão (0,001g) (Marte científica Ltda) contendo a gota antes e depois de seu fornecimento, corrigindo a quantidade de produto evaporado através da pesagem das placas que não foram ofertadas aos insetos e permaneceram nas mesmas condições.

Tempo de exposição da isca tóxica aos adultos de S. frugiperda

Insetos adultos virgens (machos e fêmeas) suscetíveis de *S. frugiperda* com idade de 48 h e oriundos da criação de manutenção em laboratório foram acondicionados em gaiolas plásticas PET de 500 mL. Estes insetos foram privados de alimentação por um período de 12 h antes da realização do bioensaio. Após este período, foi oferecida 50 µL de isca tóxica (tratamento) formulada com os inseticidas acima descritos na concentração de 2% de ingrediente ativo por litro de atrativo (Tabela

1). As iscas tóxicas foram oferecidas por um período de 4, 6, 8 e 12 h. Após este período de exposição, as iscas tóxicas foram substituídas por uma solução de hidromel a 10%. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos (Tabela 1). Cada tratamento foi composto por cinco repetições, cada repetição (unidade experimental) consistia de seis insetos adultos virgens.

Toxicidade de iscas tóxicas sobre adultos de S. frugiperda em diferentes idades dos insetos

Neste bioensaio foram utilizados adultos virgens de *S. frugiperda* suscetíveis a inseticidas sintéticos e plantas Bts provenientes da criação de manutenção com idades de 24, 48 e 72 h após a emergência (tratamentos). Os insetos foram acondicionados em gaiolas de plásticas de 500 mL e privados de alimentação por um período de 12 h antes da realização dos bioensaios. O período de exposição à isca tóxica (Tabela 1) foi de 12 h e após este período as iscas tóxicas foram substituídas por uma solução de hidromel a 10%. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco repetições, cada uma com seis insetos adultos de ambos os sexos.

Período de privação alimentar antes da exposição de S. frugiperda à iscatóxica

Insetos adultos virgens suscetíveis de *S. frugiperda* (machos e fêmeas) com 48 h de emergência obtidos da criação de manutenção foram transferidos para gaiolas plásticas de 500 mL e privados de alimentos por um período de 12 e 24 h. Após o período de privação alimentar, foi oferecida a isca tóxica (50 μ L) por um período de 12 h (Tabela 1). Após o período de oferecimento, as iscas tóxicas foram substituídas por uma solução de hidromel a 10%. O delineamento experimental foi inteiramente

casualizado com cinco repetições, cada uma com seis insetos adultos de ambos os sexos.

Bioensaio com associação de mel e isca tóxica

Neste bioensaio foi verificado o efeito da combinação da isca tóxica com uma dieta artificial de hidromel a 10% sobre insetos adultos virgens suscetíveis de *S. frugiperda* (machos e fêmeas virgens) com 48 h de emergência. Estes indivíduos foram colocados em gaiolas plásticas de 500 mL como descrito anteriormente para os demais bioensaios. Os insetos foram privados de alimento por um período de 24 h. Após este período, à isca tóxica (tratamento) foi oferecida por um período de 12 h juntamente com a solução de hidromel a 10%. Após o oferecimento da isca tóxica e da solução de hidromel, estes foram substituídos por uma solução fresca de hidromel a 10%. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco repetições, cada uma com seis insetos adultos de ambos os sexos.

Toxicidade de diferentes bases atrativas na formulação de isca tóxica

Foram utilizados adultos virgens suscetíveis de *S. frugiperda* (machos e fêmeas virgens) com 48 h de idade. Os insetos foram acondicionados em gaiolas plásticas de 500 mL como descrito anteriormente e os procedimentos de privação alimentar, tempo de oferecimento da isca e posterior substituição por hidromel foram realizadas conforme descrito anteriormente. As iscas tóxicas foram formuladas com o uso de diferentes atrativos alimentares (Acttra FAW, Acttra 43 SB e Noctovi[®]) e diferentes inseticidas (Tabela 1). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco repetições, cada uma com seis insetos adultos de ambos os sexos.

Bioensaio de eficiência de controle da linhagem de S. frugiperda resistente à tecnologia Bt Vt Pro

Insetos adultos virgens da linhagem de *S. frugiperda* resistente à tecnologia *Bt Vt Pro* com 48 h de idade obtidos da criação de manutenção foram transferidos para caixas plásticas de 500 mL e privados de alimentos por um período de 24 h. Após o período de privação alimentar, foi oferecida a isca tóxica (50µL) por um período de 12 h. Após o período de oferecimento, a isca tóxica foi substituída por uma solução de hidromel a 10%.

As iscas tóxicas foram formuladas com diferentes inseticidas (Tabela 1) e o atrativo alimentar Noctovi[®]. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco repetições, cada um com seis insetos adultos de ambos os sexos.

Análise de dados

Modelos lineares generalizados da família exponencial de distribuições (Nelder e Wedderburn 1972) foram utilizados para as análises das variáveis estudadas. A verificação do ajuste de qualidade foi realizada através do gráfico semi-regular de probabilidades com envelope de simulação (Hinde e Demétrio 1998). Quando foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos, foram realizadas comparações múltiplas (teste de Tukey, $p < 0,05$) utilizando a função `glht` do pacote `Multcomp`, com ajuste dos valores de p . Todas as análises foram realizadas utilizando o estatístico “R” versão 2.15.1 (R Development Core Team 2012).

Resultados

Tempo de exposição de insetos adultos de S. frugiperda para a isca tóxica

A porcentagem de mortalidade dos insetos adultos de *S. frugiperda* foi menor para maioria das formulações inseticidas com o Noctovi[®] quando expostos para por um período de tempo ≤ 6 h. Os tempos de exposição às iscas tóxicas por 8 e 12 h apresentaram os maiores percentuais de mortalidade, todavia não diferindo significativamente entre si. Os inseticidas Delegate[®] (96,7%) ($F = 17.1$, $GL = 3, 17$; $p < 0,0001$), Karate Zeon 50 CS (81,7%) ($F = 15.74$, $GL = 3, 17$; $p < 0,0001$), Pirate[®] (86,7%) ($F = 13.11$, $GL = 3, 17$; $p < 0,0001$) e Premio[®] ($F = 10.23$; $GL = 3, 17$; $p < 0,0001$) apresentaram as maiores porcentagens de mortalidade para o período de 12 horas de exposição (Tabela 2). A isca tóxica formulada com o inseticida Clorpirifós Nortox EC apresentou mortalidade $< 50\%$ para todos os períodos de exposição ($F = 19.02$, $GL = 3, 17$; $p < 0,0001$).

Influência da idade na toxicidade de isca tóxica para adultos de S. frugiperda

Nos bioensaios de mortalidade usando adultos de *S. frugiperda* com diferentes idades (24, 48 e 72 h de emergência) foram verificadas as maiores porcentagens de mortalidade nos indivíduos com 48 e 72 h após a emergência (Tabela 3). A formulação com o inseticida Clorpirifós Nortox EC apresentou as menores porcentagens de mortalidade para ambas as idades testadas (24h = 20%; 48h = 43,3% e 72h = 58, 3%) ($F = 19.02$, $GL = 2, 13$; $p < 0,0001$). As formulações de isca tóxica com os inseticidas Pirate[®] e Mustang[®] 350 EC apresentaram mortalidade acima de $\geq 80\%$ em indivíduos com 48 h de idade. Nos insetos adultos com 72 h de emergência, todos os inseticidas testados apresentaram porcentagens de mortalidade acima de 80%, exceto o Clorpirifós Nortox EC (Tabela 3).

Período de privação alimentar anterior ao oferecimento da isca tóxica

Os insetos adultos de *S. frugiperda* (48 h de emergência) mantidos em privação alimentar por um período de 24 h apresentaram maior suscetibilidade para as iscas tóxicas formuladas com todos inseticidas testados (Tabela 4). A formulação com o inseticida Premio[®] apresentou maior porcentagem de indivíduos mortos quando privados de alimentos por um período de 24 h (90%) ($T = 0.63$, $GL = 1, 9$; $p < 0,0001$). Em contraste, à isca tóxica formulada com Clorpirifós Nortox EC em ambos os períodos de privação de alimento apresentaram as menores porcentagens de mortalidade ($T = 0.35$; $GL = 1, 9$; $p < 0,0001$) (Tabela 4).

Suscetibilidade de diferentes atrativos em iscas tóxicas para adultos de S. frugiperda

Nos bioensaios usando diferentes atrativos em formulações de iscas tóxicas verificou-se diferenças significativas entre os formulados e os diferentes inseticidas (Tabela 5). As formulações com base nos atrativos Acttra FAW, Acttra 43SB e Noctovi[®] em mistura com o inseticida Clorpirifós Nortox EC apresentaram mortalidade $\leq 60\%$ (Tabela 3). As formulações com Acttra FAW + inseticida Premio[®], além de Acttra 43SB e Noctovi[®] em mistura com o inseticida Pirate[®] apresentaram mortalidade acima de 90% (Tabela 5).

Efeito da disponibilidade de dieta artificial concomitante com a isca tóxica

Os bioensaios dos diferentes compostos bases das iscas tóxicas oferecidas concomitantes com a dieta artificial apresentaram diferença significativa na mortalidade dos insetos adultos de *S. frugiperda* para os inseticidas Clorpirifós Nortox EC ($F = 9.02$, $GL = 2, 13$; $p < 0,0001$), Delegate[®] ($F = 17,3$, $GL = 2, 13$; $p < 0,0001$) e Premio[®] ($F = 7,56$, $GL = 2, 13$; $p < 0,0001$) (Tabela 6). Nas formulações associadas aos inseticidas Mustang[®] 350 EC ($F = 11.23$, $g.l = 2, 13$; $p < 0,0001$) e Pirate[®] ($F = 3,11$, $g.l = 2,13$; $p <$

0,0001) não foram encontradas diferença significativa para os compostos bases das iscas tóxicas com Acttra 43 SB e Noctovi[®] (Tabela 4). As formulações Acttra 43SB e Noctovi em mistura com o inseticida Pirate[®] e Acttra FAW + Premio[®] apresentaram mortalidade de 90 % (Tabela 6). Em todas as formulações de iscas tóxicas com o inseticida Clorpirifós Nortox EC foram encontradas mortalidades inferiores a 60% (Tabela 6).

Suscetibilidade da Linhagem de S. frugiperda resistente a tecnologia Vt Pro à isca tóxica

O uso de isca tóxica como ferramenta de manejo de resistência a cultivos *Bt*s torna-se promissor, uma vez que, nos bioensaios de eficiência de controle executados nas condições laboratoriais foram encontradas porcentagens de mortalidade $\geq 60\%$ para a linhagem resistente ao *Bt* Vt Pro para as formulações da isca tóxica com os inseticidas Delegate[®], Mustang[®] 350 SC, Pirate[®] e Premio[®] (Tabela 7). O inseticida Clorpirifós Nortox EC na formulação da isca tóxica apresentou a menor porcentagem de mortalidade (18,33%) seguida pelo inseticida Karate Zeon 50 EC (26,66%) (Tabela 7).

Discussão

É de fundamental importância estudar as características comportamentais e fisiológicas associadas aos insetos adultos, pois, estas influenciam na atração para semioquímicos sexuais e/ou alimentares podendo afetar a eficácia das técnicas de controle baseadas no atrai e mata. Nos bioensaios realizados, observou-se que o tempo de oferecimento da isca é um parâmetro relevante na eficiência de iscas tóxicas e períodos ≥ 12 h contribuíram para taxas de mortalidade acima de 70%, todavia,

variações na porcentagem de mortalidade foram constatadas nas diferentes formulações (inseticidas) estudadas.

O período de exposição às iscas tóxicas torna-se um fator preponderante para a sua eficiência de controle, uma vez que, um maior período de exposição possibilita a ingestão de uma maior quantidade das formulações (atrativo + inseticida) aumentando a concentração do agente letal no organismo do inseto. Diferentemente do que é considerado nos bioensaios de toxicidade (Concentração letal do agente de mortandade), o tempo de exposição ao agente letal é responsável pela efetividade da dose letal, pois existe a interação da molécula do agente letal com os receptores de reação biomolecular determinando o efeito tóxico (Paramasivam e Selvi 2017, Sánchez-Bayo e Tennekes 2020). A relação entre o período de exposição e ingestão da isca tóxica encontrada no presente trabalho é semelhante aos encontrados para outras espécies de insetos submetidas a testes de exposição e toxicidade letal, como para os dípteros *Musca domestica* L. (Muscidae), *Drosophila melanogaster* (Drosophilidae) e *Megaselia scalaris* (Loew) (Phoridae) obtendo-se maiores taxas de mortalidade quando expostas a iscas tóxicas por um maior período de tempo (Wongthangsiri *et al* 2018). Resultados semelhantes aos obtidos neste estudo foram constatados por Baronio *et al* (2018) e Nunes *et al* (2019) desenvolvendo métodos de bioensaios para estudar a toxicidade de iscas tóxicas para *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) e *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830) (Diptera: Tephritidae).

O tempo de exposição dos adultos de *S. frugiperda* às iscas tóxicas foi um fator importante nos bioensaios. Todavia, as diferentes idades dos indivíduos estudados mostraram-se condicionantes para o aumento da porcentagem mortalidade dos insetos. Indivíduos adultos de *S. frugiperda* com idade ≥ 48 h de emergência apresentaram as maiores taxas de mortalidade para as formulações das iscas tóxicas testadas ($> 60\%$).

Resultados contrastantes foram observados em indivíduos jovens (≤ 24 h de emergência), e em especial para fêmeas virgens (observação não publicada por não ser objeto do estudo).

Assim como observado neste estudo, a idade é um componente importante a ser considerado durante o desenvolvimento de formulações atrai e mata, uma vez que, esse parâmetro fisiológico pode alterar a atração de algumas espécies de insetos a compostos orgânicos voláteis. Hipótese semelhante à verificada em nosso estudo foi testada para indivíduos adultos de *Ceratitis capitata* de 5 dias de emergência, sendo observadas maiores porcentagens de mortalidade para o uso de iscas tóxicas quando comparados com indivíduos de 1 e 8 dias de emergência (Baronio *et al* 2018). Analisando o comportamento de atratividade *Zeugodacus curcubitae* (Coquillett, 1899) (Diptera: Tephritidae) para compostos voláteis orgânicos emitidos por melão amargo (*Momordica charantia*) constatou-se uma relação dependente da idade, onde a maior atratividade foi constatada nos indivíduos de maior idade (Piñero *et al* 2021). Comportamento contrastante foi observado para adultos de *Anastrepha fraterculus* (Tephritidae), onde foi encontrada maior porcentagem de mortalidade em indivíduos com 30 dias de idades (100%) quando comparado a indivíduos de 5 (92,6%) e 15 (92,1%) dias de emergência (Nunes *et al* 2020).

Aumentos nas respostas comportamentais de atratividade de insetos adultos para compostos voláteis dependentes de idade também foram encontradas nos lepidópteros *Mamestra brassicae* (Linnaeus, 1758) (Noctuidae) (Rojas 1999) e *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Plutellidae) (Pivinick 1990). Esta resposta comportamental associado a compostos voláteis orgânicos, sejam eles feromônios ou cairomônios, é menor para indivíduos adultos jovens em virtude do acúmulo de reservas energéticas durante o período de desenvolvimento larval e pupal e que serão utilizadas na fase

adulta dos insetos para funções reprodutivas e de sobrevivência (Arrese e Soulages 2010), tornando-os menos atraídos a determinados compostos. Segundo Martel *et al* (2009), a idade é um fator que afeta significativamente a sensibilidade antenal de fêmeas de *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae), sendo que a sensibilidade para odores é menor poucas horas após a emergência do indivíduo adulto, aumentando em 2 a 4 dias. Segundo os autores, este aumento da sensibilidade está associado à maturação e senescência dos neurônios receptores de odor. Todavia, esta alteração na sensibilidade pode estar associada ao comportamento motivacional para encontrar fontes de recursos já que a sua expectativa de vida também diminui com o passar dos dias.

Os insetos comumente apresentam respostas comportamentais padrões para a voláteis orgânicos presentes no ambiente. Esses indivíduos apresentam plasticidade olfativa, caracterizada pela mudança no comportamento olfatório para alguns estímulos devido à modulação do sistema sensorial em função do estado fisiológico de agentes exógenos e endógenos que incidem sobre ele. Ambos os agentes exógenos e endógenos ao inseto, apresentam fundamental importância, pois, conduzem respostas comportamentais para funções de caráter fisiológico e vital, como, alimentação, predação, desenvolvimento reprodutivo, busca de parceiros sexuais e hospedeiros. No entanto, as respostas comportamentais inatas dos indivíduos sofrem alterações devido a condicionamentos fisiológicos (idade, experiência de aprendizado, status hormonal, ritmo circadiano, status nutricional, status de cruzamento e desenvolvimento reprodutivo) e ambientais (temperatura, luminosidade, umidade e fotoperíodo) afetando a sua atratividade olfativa para alimentação e semioquímicos (Stadler 1992, Wyatt e Davey 1996, Dingle e Winchell 1997, Wyatt 2014, Gadenne *et al* 2016, Menecer *et al* 2023). Embora pouco usual nas práticas agrícolas, entender as alterações nas respostas

fisiológicas e comportamentais dos insetos ajuda a configurar estratégias de manejo mais eficientes, incluindo o desenvolvimento de formulações de isca tóxicas mais atrativas.

Outro parâmetro importante nas avaliações da eficiência das formulações de iscas tóxicas foram os períodos de privação alimentar, sendo observadas no estudo as maiores taxas de mortalidade quando as iscas tóxicas foram oferecidas por um período de privação alimentar por 24 h obtendo-se mortalidades superiores a 70% quando comparadas aos resultados de 12 h. Resultados semelhantes foram verificados em bioensaios de iscas tóxicas com privação alimentar com adultos de *A. fraterculus*, onde a privação alimentar por 12 h contribuiu no aumento da mortalidade destes indivíduos (Nunes *et al* 2020). Condição semelhante foi encontrada em bioensaios conduzidos com *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931) (Diptera: Drosophilidae) para odores atrativos em armadilhas provenientes da fermentação de farinha e levedura (Wong *et al* 2018). Segundo estudos de Defagó *et al* (2016), insetos apresentam diferentes limiares de privação alimentar podendo afetar na resposta positiva para o odor da planta hospedeira. Ainda segundo os autores, indivíduos especialistas como *Xanthogaleruca luteola* (OF Müller, 1766) (Coleoptera: Chrysomelidae) apresentam um limiar menor (8,0 h) de resposta aos odores da planta hospedeira quando comparado a indivíduos generalistas como *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Chrysomelidae) (48 h) impactando na resposta mais rápida aos odores alimentares. Outro aspecto a ser considerado é que a privação alimentar aumenta a capacidade de busca por alimento e sua ingestão (Wong *et al* 2018).

O estado nutricional é responsável por respostas dos insetos aos odores presentes no ambiente, em especial, aos odores de alimentos, de modo que insetos privados de alimentação aumentam a responsividade para estímulos gustatórios,

olfatórios e visuais para o recurso alimentar (Browne 1993). O status de privação alimentar reflete na indução dos indivíduos a se alimentarem da isca tóxica ofertada, aumentando a chance de respostas para estímulos relacionadas às fontes alimentares e conduzindo-os à aceitação dos recursos (Bell 1990, Diaz-Fleischer *et al* 2014, Scharf 2016). Os componentes da formulação base dos atrativos, geralmente frutose, glucose e/ou sucrose, desencadeiam respostas neurossensoriais nos insetos na busca por fontes de energia metabólica estimulando a ingestão das iscas tóxicas (Nestel *et al* 2004). Além disso, os componentes fagoestimulantes presentes nas formulações garantem a destas, tornando-as mais ou menos atrativas à curtas distâncias (Baldin *et al* 2018). Esses recursos alimentares são fundamentais nas atividades ao longo do ciclo de vida dos insetos, em especial no estágio adulto, para que possam maturar o seu sistema reprodutivo, propiciando atividades de voo, cópula e oviposição (Chapman 1998).

As iscas tóxicas estudadas apresentaram mortalidades diferentes. Essas diferenças podem ter ocorrido por diversos fatores, como, os componentes das formulações base dos atrativos ou em função do inseticida utilizado e das possíveis alterações de natureza físico-químicas que podem ocorrer ao se formular isca tóxica com inseticidas comerciais. Todavia, cabe destacar que estudo físico-químico não foi objeto do estudo e que pesquisas futuras podem ajudar a responder mais precisamente a influência dos componentes bases das formulações em misturas com inseticidas. Como destacado por Vargas *et al* (2002), as misturas base das formulações atrativas são os agentes primários da eficiência das formulações, pois, são responsáveis por tornarem as iscas tóxicas atrativas e estimulantes para os insetos condicionando o comportamento de busca e ingestão da mistura.

Além da atração e estímulo pelos componentes base das formulações, salienta-se a importância do agente letal (inseticida) apresentar características desejáveis para ser

incluído na formulação da isca tóxica sem afetar negativamente a eficiência da técnica do atrai e mata. Estas características englobam: a eficácia em concentrações que produzam taxas de aplicação igual ou inferiores as pulverizações de cobertura, ausência de repelência na espécie-alvo, persistência semelhante à capacidade atrativa dos componentes voláteis dos atrativos, promoção de rápida incapacidade e ou morte do inseto-alvo e, seletividade ou baixa toxicidade para organismos não-alvos (Del Socorro *et al* 2010).

As formulações em mistura com o inseticida Clorpirifós Nortox apresentaram mortalidades inferiores a 50%. Este resultado sugere a presença de compostos repelentes no inseticida e ou em metabolitos formados durante a mistura. Molina *et al* (2023) verificaram comportamento de repelência de *Polybetes pythagoricus* (Holmberg, 1875) (Araneae: Sparassidae) para áreas tratadas com o inseticida Clorpirifós. Comportamento semelhante de repelência pode ser verificado em estudos comportamentais com *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae) em bioensaios de escolha, onde áreas tratadas com o inseticida clorpirifós foram evitadas pela espécie (Campos *et al* 2011). Justiano e Fernandes (2020) estudando diferentes formulações base de atrativos para uso no manejo de adultos de *S. frugiperda* demonstram que Noctovi 43SB (=Acttra 43SB) apresentou maior atratividade quando comparado a outras formulações base e atrativos alimentares alternativos. Ainda segundo os autores, formulados de isca tóxica com o Noctovi 43SB (=Acttra 43SB) com os inseticidas contendo Clorpirifós e Lambda-Cialotrina apresentaram 100% de mortalidade. Mortalidades superiores a 70% também foram encontradas para misturas de formulações de isca tóxica para insetos adultos de *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1805) (Lepidoptera: Noctuidae) com o inseticida Clorpirifós (Del Socorro *et al* 2010). Resultados semelhantes foram observados em formulações de isca tóxica para *C.*

capitata (Baronio *et al* 2019). Estes resultados contrastam com os observados em nosso estudo, possivelmente pelo regime de privação alimentar de 48 h, sendo este maior que o utilizado em nosso bioensaio (24 h) e que poderia ter condicionado à alimentação dos insetos.

A disponibilidade de alimento juntamente com o oferecimento das iscas tóxicas não afetou a eficiência de controle dos adultos de *S. frugiperda* obtendo-se porcentagens de mortalidade superiores a 70%, exceto nas formulações de isca tóxicas + Acttra FAW + Mustang[®] 350 EC, Karate Zeon 50 CS e todas as formulações com o inseticida Clorpirifós Nortox, que apresentaram porcentagens de mortalidade inferiores a 60%. Baronio *et al* (2018) sugere que a disponibilidade de alimento juntamente com a isca tóxica não altera a suscetibilidade de adultos de *C. capitata* para as iscas tóxicas, todavia, comportamento contrário é verificado na ausência de alimento aumentando o consumo da isca. Resultados semelhantes foram verificados para *A. fraterculus* e *Dacus ciliatus* (Loew, 1862) (Diptera: Tephritidae) sendo constatada a ingestão do volume de isca tóxica duas vezes maior em indivíduos privados de alimentação suplementar (Nestel *et al* 2004). Gazit *et al* (2013) e Nunes *et al* (2019) afirmam que indivíduos privados de alimentação apresentam maior taxa de mortalidade do que indivíduos alimentados. Apesar de não ocorrerem mortalidades menores que 70% nos indivíduos estudados, o regime de privação alimentar garante a maior quantidade da isca tóxica ingerida e conseqüentemente maior taxa de mortalidade das pragas.

Neste estudo, a técnica de atrai e mata mostrou-se uma ferramenta promissora no manejo de adultos da linhagem de *S. frugiperda* resistentes à tecnologia *Bt* Vt Pro. As iscas tóxicas formuladas com o atrativo alimentar Noctovi[®] em mistura com os inseticidas Delegate[®], Premio[®], Mustang[®]350 EC e Pirate[®] apresentaram porcentagens de mortalidade superiores a 60%. Estes resultados se assemelham aos encontrados nos

bioensaios conduzidos com a linhagem suscetível, tornando-se uma ferramenta promissora no manejo da resistência em cultivos *Bt*. No Brasil, nenhum estudo foi publicado verificando a eficiência da estratégia do sistema de atrai e mata como uma ferramenta para o manejo da resistência para *Bt* e inseticidas sintéticos possibilitando estudos futuros para comparar os efeitos tóxicos dos inseticidas em aplicações ópticas versus o uso da isca. Estudos realizados na Austrália em cultivo de algodão transgênico Bollgard[®] III aplicando o atrativo alimentar Magnet[®] apresentaram redução de populacional de adultos de *H. armigera* e *Helicoverpa punctigera* (Wallengren, 1860) (Lepidoptera: Noctuidae) e consequente redução no número de ovos nas áreas tratadas (Gregg *et al* 2022). Os autores ainda destacam que o uso preventivo (três aplicações sequenciais) do sistema atrai e mata como a melhor abordagem para o manejo da resistência dos insetos às plantas *Bt* devido à possibilidade de retirada do maior número de indivíduos com alelos de resistência quando comparado a estratégias curativas com aplicação única. Resultados semelhantes foram encontrados por Mensah e Macpherson (2010) avaliando a aplicação do atrativo Magnet[®] em algodão Bollgard[®] III para o manejo de *H. armigera*, verificando redução populacional de adultos na área tratada e na área vizinha não tratada (de até 1,0 km de distância), bem como redução nas contagens de ovos e na presença de lagartas. Após a verificação da supressão de populações de *H. armigera* e *H. punctigera* esta técnica foi incorporada ao plano nacional de manejo da resistência para o cultivo do algodoeiro *Bt* na Austrália (Gregg *et al* 2022, CRDC 2023).

Com base nos resultados deste estudo ressalta-se que diversos aspectos associados aos insetos adultos afetam a eficiência dos sistemas de atrai e mata influenciando nas metodologias para estudo de iscas tóxicas em laboratório. Desta forma, para estudos com iscas tóxicas sobre adultos de *S. frugiperda* em condições de

laboratório recomenda-se a utilização de indivíduos com 48 h de emergência, privados de alimentação por 24 h e tempo de oferecimento da isca tóxica de 12 h (períodos mais longos requerem reidratação do material testado). A compreensão da ecologia e do comportamento da espécie-alvo para o desenvolvimento e implementação de métodos de controle mais eficientes deverão ser consideradas, assim como características físico-químicas do inseticida utilizado, evitando-se produtos incompatíveis para misturas. O atrativo alimentar Noctovi[®] demonstrou ser uma ferramenta promissora no manejo insetos resistente às tecnologias *Bts*.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Pelotas – FAEM/UFPel, por disponibilizar a infraestrutura e equipamentos necessários para a realização deste estudo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de Doutorado (Processo 142587/2019-2 GM/GD).

Declaração de Conflito de Interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Declaração de Contribuição dos Autores

JGSF, ORD, PS, LP, JAO, JPF e DB conduziram, analisaram e escreveram o manuscrito. RMJR e DB revisaram o manuscrito.

Referência

Abbas A, Ullah F, Hafeez M, Han X, Dara MZN, Gul H, Zhao CR (2022) Biological control of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Agronomy*, 12: 1-16.

- Agarwal ML, Sunil V (2020) Basic behavioral patterns in insects and applications of behavioral manipulation in insect pest management. *J. Entomol. Zool. Stud.* 8: 991-996.
- Agelopoulos N, Birket, MA, Hick AJ, Hooper A, Pickett JA, Pow EM, Smart LE, Smiley DWM, Wadhams LJ, Woodcock CM (1999) Exploiting semiochemicals in insect control. *Pestic. Sci.* 55: 225-235.
- Allison J D, Cardé RT (2016) Pheromones communication in moth: evolution, behavior and application. California, University of California Press, 411 p.
- Anton S, Cortesero AM (2022) Plasticity in chemical host plant recognition in herbivorous insects and its implication for pest control. *Biology* 11: 1-18.
- Arresse EL, Soulages JL (2010) Insect fat body: energy, metabolism, and regulation. *Annu. Rev. Entomol.* 55: 207-225.
- Babendreier D, Agboyi LK, Beseh P, Osaie M, Nbboyine J, Ofori SEK, Frimpong J O, Clottey VA, Kenis M (2020) The efficacy of alternative, environmentally friendly plant protection measures for control of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in maize. *Insects* 11: 1-21.
- Baldin MM, Schutze IX, Baronio CA, Mello Garcia FR, Botton M (2018) Concentration and lethal time of toxic baits based on spinosyns on *Ceratitis capitata* and *Diachasmimorpha longicaudata*. *Pesqui. Agropecu. Trop* 48:323-330.
- Baronio CA, Bernardi D, Nunes MZ, Pasinato J, Garcia FRM, Botton M (2018) Bioassay method for toxicity studies of toxic bait formulations to *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). *Neotrop Entomol.* 48: 1-8.
- Bell WJ (1990) Searching behaviour patterns in insects. *Annu. Rev. Entomol.* 35: 447-467.

- Bentivenha JPF, Rodrigues JG, Lima MF, Marçon P, Popham HJR, Omoto C (2019) Baseline susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to SfMNPV e evaluation of cross-resistance to major insecticides and Bt proteins. J. Econom. Entomol. 112: 91-98.
- Bernardi O, Bernardi D, Horikoshi RJ, Okuma DM, Miraldo LL, Fatoretto J, Medeiros FC, Burd T, Omoto C (2016) Selection and characterization of resistance to Vip3AA20 protein from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda*. Pest Manag. Sci. 72, 9: 1794-1802.
- Boaventura, D, Ulrich J, Lueke B, Bolzan A, Okuma D, Gutbrod O, Zeng Q, Dourado PM, Martinelli S, Flagel L, Head G, Nauen R (2020) Molecular characterization of Cry1F resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* from Brazil. Insect Biochem. Mol. Biol. 116: e-103280.
- Browne LB (1993) Physiologically induced changes in resource-oriented behavior. Annu. Rev. Entomol. 38: 1-23.
- Bueno RCOF, Bueno AF, Moscardi F, Parra JRP, Hoffman-Campo CB (2011) Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for development multiple-species economic thresholds for pest management decisions. Pest Manag. Sci. 67: 170-174.
- Camelo LA, Landolt PJ, Zack RS (2007) A kairomone based attract-and-kill system effective against alfalfa looper (Lepidoptera Noctuidae). J. Econ. Entomol, 100: 366-374.
- Campos MR, Picanço MC, Martins JC, Tomaz AC, Guedes RNC (2011) Insecticides selectivity and behavioral response of the earwig *Doru luteipes*. Crop Prot. 30: 1535-1540.

- Chapman RF (1998) The insects: structure and function. Cambridge, Cambridge University Press, 770 p.
- Charmillot PJ, Hofer D, Pasquier D (2000) Attract and kill: a new method for control of the codling moth *Cydia pomonella*, Entomol. Exp. Appl. 94: 211-216.
- Conchou L, Lucas P, Meslin C, Proffit M, Staudt M, Renou M (2019) Insects odorscapes: from plant volatiles to natural olfactory scenes. Front. Physio. 10: 1-20.
- Cotton Research and Development Corporation (2023) Cotton pest management Guide. Herreies ST, Greenmount Press, 156 p.
- Cruz-Estaban S, Rojas JC, Malo EA (2020) A pheromone lure for catching fall armyworm males (Lepidoptera: Noctuidae) in Mexico. Act. Zool. Mex. 36: 1-11.
- Defagó MT, Videla M, Valladares, G (2016) To smell you better: prior food deprivation increases herbivore insect responsiveness to host plant odor cues. J. Insect Behav. 29: 527-534.
- Del Socorro AP, Gregg PC, Hawes AJ (2010) Development of a synthetic plant volatile-based attracticide for female noctuid moths. III. Insecticides for adult *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). Aust. J. Entomol. 49: 31-39.
- Díaz-Fleischer F, Piñero JC, Shelly TE (2014) Interactions between tephritid fruit fly physiological state and stimuli from baits and traps: looking for the pied piper of hamelim to lure pestiferous fruit flies. In Shelly T, Epsky N, Jang EB, Reyes-Flores J, Vargas R. (Eds) Trapping and the detection, control, and regulation of tephritid fruit flies. Springer Netherlands, p. 145-172.
- Dingle H, Winchell R (1997) Juvenile hormone as a mediator of plasticity in insect life histories. Arch. Insect Biochem. Physiol. 35: 359-373.

- Edgecomb R S, Harth CE, Scheneiderman AM (1994) Regulation of feeding behavior in adult *Drosophila melanogaster* varies with feeding regime and nutritional state. *J. Exp. Biol.* 197: 215-235.
- Farias J R, Andow DA, Horikoshi RJ, Sorgatto RJ, Fresia P, dos Santos AC, Omoto C (2014) Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Prot.* 64: 150-158.
- Ferreira Filho JBS, Alves LRA, Gottardo LCB, Georgino M (2010) Dimensionamento do custo econômico representado por *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho no Brasil. In. CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48., Campo Grande, MS. Anais... Brasília: SOBER, 48 p.
- Figueiredo MLC, Cruz I, Silva RB, Foster JE (2015) Biological control with *Trichogramma pretiosum* increases organic maize productivity by 19.4%. *Agron. Sustain. Dev.* 35: 1175-1183.
- Foster SP, Harris MO (1997) Behavioral manipulation methods for insects pest-management. *Annu. Rev. Entomol.* 42: 123-146.
- Gadenne C, Barrozo RB, Anton S (2022) Plasticity in insect olfaction: to smell or not to smell? *Annu. Rev. Entomol.* 61: 317-333.
- Gajger IT, Dar AS (2022) Plant allelochemicals as sources of insecticides. *Insects*, 12: 1-21.
- Gazit Y, Gavriel S, Akiva R, Timar D (2013) Toxicity of baited spinosad formulations to *Ceratitidis capitata*: from the laboratory to the application. *Entomol. Exp. et Appl.* 147: 120-125.
- Greene GL, Leppla NC, Dickerson WA (1976) Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. *J. Econ. Entomol.* 69: 487-488.

- Gregg PC, Del Socorro AP, Hawes AJ, Binns MR (2018) Development bisexual attract-and-kill for polyphagous insects: ecological rationale versus pragmatics. *J. Chem. Ecol.* 42: 666-675.
- Gregg PC, Del Socorro AP, Landolt PJ (2018) Advances in attract-and-kill for agricultural pests: beyond pheromones. *Annu. Rev. Entomol.* 63: 453-470.
- Gregg PC, Del Socorro AP, Wilson S, Knight KM, Binns MR, Armytage P (2022) Bisexual attract-and-kill: a novel component of resistance management for transgenic cotton in Australia. *J. Econ. Entomol.* 115: 826-834.
- Guerrero A, Malo EA, Coll J, Quero C (2014) Semiochemical and natural product-based approaches to control *Spodoptera* spp. (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Pest Sci.* 87: 231-247.
- Guo J, Wu S, Zhang F, Huang C, He K, Babendreier D, Wang Z (2020) Prospects for microbial control of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: a review. *BioControl*, 65: 647-662.
- He LM, Jiang S, Chen YC, Kris AGW, Ge SS, He W, Gao XW, Wu KM (2021) Adult nutrition effects reproduction and flight performance of the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. *J. Integr. Agric.* 20: 715-726.
- Hussain A, Üçpınar HK, Zhang M, Loschek LF, Kdow ICG (2016) Neuropeptides modulate female chemosensory processing upon mating in *Drosophila*. *PLoS Biol.* 14: e1002504.
- Jin S, Zhou X, Gu F, Zhong G, Yi X (2017) Olfactory plasticity: variation in the expression of chemosensory receptors in *Bractocera dorsalis* in different physiological states. *Front. Physiol.* 8: 1-12.

- Justiano W, Fernandes MG (2020) Effect of food attractants and insecticide toxicity for the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Adults. *J. Agric. Sci.* 12: 129-137.
- Kannan K, Galizia CG, Nouvian M (2022) Olfactory strategies in the defensive behaviour of insects. *Insects*, 13: 1-20.
- Kenis M, Du Plessis H, Van den Berg J, Ba MN, Goergen G, Kwadjo KE, Baoua I, Tefera T, Buddie A, Cafá G, Offord L, Rwomushana I, Polaszek A (2019) *Telenomus remus*, a candidate parasitoid for the Biological Control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already present on the continent. *Insects*, 10: 1-10.
- Landolt PJ (1997) Sex attractant and aggregation pheromones male phytophagous insects. *Am. Entomol.* 43: 12-22.
- Leite SA, Guedes RNC, Santos MP, Costa DR, Moreira AA, Matsumoto SN, Lemos OL, Castellani MA (2020) Profile of coffee crops and management of the neotropical coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella*. *Sustainability*, 12: 1-14.
- Manacer K, Hervé MR, Cortesero AM, Aujames T, Anton S (2023) Sex- and maturity-dependent antennal detection of host plant volatiles in the cabbage root fly, *Delia radicum*. *J. Insect Physiol.* 146: 1:27.
- Martel V, Anderson P, Hansson BS, Schlyter F (2009) Peripheral modulation of olfaction by physiological state in the Egyptian leaf worm *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Insect Physiol.* 55: 793-797.
- Masante-Roca I, Anton S, Delbac L, Dufuor MC, Gadenne C (2007) Attraction of grapevine moth to host and non-host plant parts in Wind tunnel: effects of plant phenology, sex, and mating status. *Entomol. Exp. Appl.* 122: 239-245.
- Mazzoni V, Anfora G (2021) Behavioral manipulation for pest control. *Insects*, 12: 1-2.

- Mbaluto CM, Ayelo PM, Duffy AG, Erdei AL, Tallon AK, Xia S, Cballero-Vidal G, Spitaler U, Szelényi MO, Duarte GA, Wilker III WB, Becher PG (2020) Insect chemical ecology: chemically mediated interactions and novel applications in agriculture. *Arthropod Plant Interac.* 14: 671-684.
- Mensah RK, Macpherson I (2010) Lure-and-kill as reduced-risk strategy for managing *Helicoverpa* spp. on conventional cotton crops within transgenic cotton fields. *Biol. Control.* 24: 91-103.
- Molina G, Laiano A, Arrighetti F, Lacava M, Romero S, Mijailovsky S, Garcia CF (2023) Effect of the insecticide chlorpyrifos on behavioral and metabolic aspects of the spider *Polybetes pythagoricus*. *Environ. Toxicol. Chem.* 42: 1293-1308.
- Moscardi F (1999) Assessment of the application of baculoviruses for control of Lepidoptera. *Rev. Entomol.* 44: 257-289.
- Murali-Baskaran RK, Sharma KC, Kaushal P, Kumar J, Parthiban P, Senthil-Nathan S, Mankin RW (2018) Role of Kairomone in biological control of crop pest – a review. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 101: 3-15.
- Nestel D, Nemny-Lavy E, Zilberg L, Weiss M, Akiva R, Gazit Y (2004) The fruit fly PUB: a phagostimulation unit bioassay system to quantitatively measure ingestion of bait by individual flies. *J. Appl. Entomol.* 128: 576-582.
- Nigg HN, Simpson SE, Schumann RA, Exteberria E, Jang EB (2002) Kairomones for the management of *Anastrepha* spp. fruit flies. *Proceedings of 6th International Fruit Fly Symposium*, p. 335-347.
- Norin T (2007) Semiochemical for insect pest management. *Pure appl.* 79: 2129-2136.
- Nunes MZ, Bernardi D, Baronio CA, Pasinato J, Maldin M, Botton M (2020) A laboratory bioassay method to assess the use of toxic bait on *Anastrepha fraterculus* (Weidemann 1830). *Neotrop. Entomol.* 49: 124-130.

- Omoto C, Bernardi O, Salmeron E, Sorgatto RJ, Dourado PM, Crivellari A, Carvalho RA, Willse A, Martinelli S, Head GP (2016) Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Manag. Sci.* 79: 1727-1736.
- Overton K, Maino JL, Day R, Umina PA, Bett B, Carnovale D, Ekesi S, Meagher R, Reynolds OL (2021) Global crops impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. *Crop Prot.* 145: e-105641.
- Paramasivam M, Selvi C (2017) Laboratory bioassay methods to assess the insecticide toxicity against insect pests- a review. *J. Entomol. Zool. Stud.* 5: 1441-1445.
- Paredes-Sánchez FA, Rivera G, Bocanegra-García V, Martínez-Padrón HY, Berrones-Morales M, Niño-García N, Herrera-Mayorga V (2021) Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*. A review. *Molecules*, v. 26, n. 18, p. 1-19.
- Piñero JC, Souder SK, Cha DH, Collignon RM, Vargas RI (2021) Age-dependent response of female melon fly, *Zeugodacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae), to volatiles emitted from damaged host fruits. *J. Asia-Pac. Entomol.* 24: 759-763.
- Pitts RJ, Mozüraitis R, Gauvin-Bialecki A, Lempérière G (2014) The roles of kairomones, synomones and pheromones in the chemically-mediated behaviour of male mosquitoes. *Acta Trop.* 132: 26-34.
- Pivnick KA, Jarvis BJ, Slater GP, Gillott C, Underhill EW (1990) Attraction of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) to volatiles of oriental mustard: the influence of age, sex and prior exposure to mates and host plants. *Envir. Entomol.* 19: 704-709.
- Qi GJ, Ma J, Wan J, Ren YL, McKirdy S, Hu, G, Zhang ZF (2021) Source regions of the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) invading Australia. *Insects*, 12: 1-12.

- Reddy GVP, Guerrero A (2004) Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends Plant Sci.* 9: 253- 261.
- Rizvi SAH, George J, Reddy GVP, Zeng X, Guerrero A (2021) Last developments in insects sex pheromone research and its application in agricultural pest management. *Insects*, 18: 1-26.
- Rojar JC (1999) Influence of age, sex and mating status, egg load, prior exposure to mates, and time of day on host-finding behavior of *Mamestra brassicae* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ Entomol.* 28: 155-162.
- Salazar-Mendoza P, Rodriguez-Saona C, Fernandes AO (2020) Release density, dispersal capacity, and optimal rearing conditions for *Telenomus remus*, an egg parasitoid of *Spodoptera frugiperda*, in maize. *Biocontrol Sci. and Technol.* 30: 1040-1059.
- Sánchez-Bayo F, Tennekes HÁ (2020) Time-cumulative toxicity of neonicotinoids: experimental evidence and implications for environmental risk assessments. *IJERPH*, 17: 1-20.
- Scharf I (2016) The multifaceted effects of starvation on arthropod behaviour. *Ani Behav.* 119: 37-48.
- Schröder R, Hilker M (1973) The relevance of background odor in resource location by insects: a behavioral approach. *BioSci.* 58: 308-316.
- Shorey HH. Behavioral responses to insect pheromones. *Annu. Rev. Entomol.* 18: 349-380.
- Stadler E (1992) Behavioral responses of insects to plant secondary compounds. In (Eds) Rosenthal, G. A.; Berenbaum, M. R. *Herbivores: Their interactions with secondary plant metabolites.* Academic Press, 45-88 p.

- Szendrei Z, Rodriguez-Saona C (2010) A meta-analysis of insect pest behavioral manipulation with plant volatiles. *Entomol. Exp. Appl.* 134: 201-210.
- Szewczyk B, Hoyos-Carvajal L, Paluszek M, Skrzecz I, Lobo de Souza M (2006) Baculoviruses – re-emerging biopesticides. *Biotechnol. Adv.* 24: 143-160.
- Takabayashi J, Shiojiri K (2019) Multifunctionality of herbivory-induced plant volatiles in chemical communication in tritrophic interactions. *Curr. Opin. Insect Sci.* 32: 110-117.
- Thöming G (2021) Behavior matters – future need for insects studies on odor – mediated host plant recognition with the aim making use of allelochemical for plant protection. *J. Agric. Food Chem.* 69: 10469-10479.
- Valicente FH (2015) Manejo integrado de pragas na cultura do milho. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagos Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 208 p.
- Vargas RI, Miller NW, Prokopy RJ (2002) Attraction and feeding responses of mediterranean fruit fly and a natural enemy to protein baits laced with two novel toxins, phloxine B and spinosad. *Entomol. Exp. Appl.* 102: 273-282.
- Wait GR, Davey KG (1996) Cellular and molecular actions of juvenile hormone. II. Roles of juvenile hormone in adult insects. *Adv. Insect Physiol.* 26: 1-155.
- Wengrat APGS, Coelho Junior A, Parra JRP, Takahashi TA, Foerster LA, Côrrea AS, Polaszek A, Johnson NF, Costa VA, Zucchi RA (2021) Integrative taxonomy and phylogeography of *Telenomus remus* (Scelionidae), with the first Record of natural parasitism of *Spodoptera* spp. in Brazil. *Sci. Rep.* 11: 1-9.
- Witzgall P, Kirsch P, Cork A. Sex pheromones and their impacts on pest management. *J. Ecol. Chem.* 36: 80-100.

- Wong JS, Wallingford AK, Loeb GM, Lee JC (2018) Physiological status of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) affects their response to attractive odors. *J. Appl. Entomol.* 142: 473-482.
- Worngthangsiri D, Pereira RM, Bangs MJ, Koehler PG, Chareonviriyaphap T (2018) Potential of attractive toxic sugar baits for controlling *Musca domestica* L. *Drosophila melanogaster* Meigen, and *Megaselia scalaris* Loew adult flies. *Agric. Nat. Resour.* 52: 393-398.
- Wyatt, T. D (2014) Pheromones and animal behavior: chemicals signals and signatures. Cambridge, Cambridge Press, 420 p.
- Yee WL (2011) Mortality and oviposition of western cherry fruit fly (Diptera: Tephritidae) exposed to different insecticide baits for varying periods in the presence and absence of food. *J. Econ. Entomol.* 104: 194- 204.
- Yee WL (2020) Evaluation of cyantraniliprole, spinetoram, and *Chromobacterium subtsugae* extract in bait for killing and reducing oviposition of *Rhagoletis indifferens* (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol.* 113: 1356-1362.
- Zakseski MR, Silva Filho JG, Rakes M, Pazini JB, da Rosa APSA, Marçon P, Popham HJR, Bernardi O, Bernardi D (2021) Pathogenic assessment of SfMNPV – based biopesticide on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) developing on transgenic soybean expressing Cry1Ac insecticidal protein. *J. Econ. Entomol.* 114: 2264-2270.

Tabela 1. Inseticidas usados nos bioensaios de avaliação da eficiência de isca tóxica no manejo de *Spodoptera frugiperda*.

Ingrediente ativo (i.a.)	Nome comercial	Concentração [Formulação] ^a	Dose ^b		Grupo químico
			i.a.	p.c.	
Clorantraniliprole ⁱ	Premio [®]	200 [SC]	13,3	66,6	Diamidas [28]
Clorpirifós ⁱⁱ	Clorpirifós Nortox EC	480 [EC]	192	400	Organofosforado [1B]
Lambda-cialotrina ⁱⁱⁱ	Karate Zeon 50 SC	50 [EC]	5	100	Piretroide [15]
Clorfenapir ^{iv}	Pirate [®]	240 [SC]	125	500	Análogo de Pirazol [15]
Espinetoram ^v	Delegate [®]	250 [WG]	3.0	12	Espinosinas [5]
Zeta-cipermetrina ^{vi}	Mustang [®] 350 EC	350 [EC]	14	40	Piretroide [3A]

ⁱFMC Química do Brasil Ltda, Campinas, SP, Brasi; ⁱⁱNortox S/A, Arapongas, PR, Brasil; ⁱⁱⁱSyngenta Proteção de Cultivos Ltda, SP, Brasil;

^{iv}Basf S/A, São Paulo, SP, Brasil; ^vDow AgroSciences Industria Ltda, Barueri, SP, Brasil; ^{vi}FMC Química do Brasil Ltda, Campinas, SP, Brasil.

^aConcentração em g a.i./kg or L [EC= Concentrado emulsionável, SC= Suspensão concentrada, WG= grânulos dispersíveis em água]; ^bdoses registradas para o controle de ⁱⁱ; ⁱ, ⁱⁱ, ^{iv}, ^{vi} *Spodoptera frugiperda* (milho) e ^v*Spodoptera eridania* (milho) (Brasil 2018) em g a.i. e g ou mL do produto comercial (p.c.)/100 L de água.

Tabela 2. Mortalidade (%) média (\pm EP) de adultos de *Spodoptera frugiperda* após a exposição a diferentes formulações de isca tóxica com o atrativo alimentar Noctovi[®] por 4, 6, 8 e 12 h de oferecimento em laboratório. Pelotas, RS, 2023.

Inseticidas	Tempo de exposição ¹ (horas)			
	4	6	8	12
Clorpirifós Nortox EC	8,3 \pm 2,04 a	40,0 \pm 4,3 b	43,3 \pm 1,66 b	55,0 \pm 3,24 b
Delegate [®]	55,0 \pm 0,91 a	80,0 \pm 1,49 b	95,0 \pm 0,91 b	96,7 \pm 0,91 b
Karate Zeon 50 CS	21,7 \pm 3,45 a	68,3 \pm 5,48 b	81,7 \pm 0,74 c	81,7 \pm 2,17 c
Mustang [®] 350 EC	18,3 \pm 1,39 a	56,7 \pm 2,73 b	75,0 \pm 1,66 c	76,7 \pm 3,20 c
Pirate [®]	28,3 \pm 3,45 a	76,7 \pm 3,20 b	81,7 \pm 2,98 b	86,7 \pm 1,49 b
Premio [®]	5,0 \pm 1,49 a	20,0 \pm 1,90 b	61,7 \pm 3,02 c	83,3 \pm 1,17 c
Controle	5,0 \pm 0,91 a	5,0 \pm 0,91 a	5,0 \pm 0,91 a	5,0 \pm 0,91 a

¹Médias seguidas de letras distintas, na linha, indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey, P <0.05.

Mortalidade corrigida pela fórmula de Henderson e Tilton (1955).

Tabela 3. Mortalidade (%) média (\pm EP) de adultos de *Spodoptera frugiperda* de 24, 48 e 72 h de emergência expostos a diferentes formulações de isca tóxica com o atrativo alimentar Noctovi[®] durante 12 h em laboratório. Pelotas, RS, 2023.

Inseticidas	Idade ¹ (horas)		
	24	48	72
Clorpirifós Nortox EC	20,0 \pm 0,91 b	43,3 \pm 3,9 a	58,3 \pm 0,31 a
Delegate [®]	75,0 \pm 1,49 a	75,0 \pm 0,91 a	91,7 \pm 0,91 a
Karate Zeon 50 SC	43,3 \pm 1,39 b	73,3 \pm 3,80 a	100 \pm 0,00 a
Mustang [®] 350 EC	48,3 \pm 2,73 b	81,7 \pm 1,82 a	81,7 \pm 0,21 a
Pirate [®]	41,7 \pm 2,63 b	80,0 \pm 3,24 a	96,7 \pm 0,91 a
Premio [®]	53,3 \pm 2,23 b	68,3 \pm 4,77 b	83,3 \pm 2,63 a
Controle	5,0 \pm 0,91 a	8,33 \pm 1,17 a	11,6 \pm 2,23 a

¹ Médias seguidas de letras distintas, na linha, indica diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey, P <0.05.

Mortalidade corrigida pela fórmula de Henderson e Tilton (1955).

Tabela 4. Mortalidade (%) média (\pm EP) de adultos de *Spodoptera frugiperda* de 48 h de idade submetidos à privação de alimentar de 12 e 24 h e expostos para diferentes formulações de iscas tóxicas com o atrativo alimentar Noctovi[®] em laboratório. Pelotas, RS, 2023.

Inseticidas	Tempo de Privação alimentar ¹ (horas)	
	12	24
Clorpirifós Nortox EC	18,3 \pm 2,17 a	53,3 \pm 5,22 b
Delegate [®]	65,0 \pm 1,83 a	76,7 \pm 1,39 b
Karate Zeon 50 SC	81,7 \pm 0,91 a	86,7 \pm 0,91 a
Mustang [®] 350 EC	50,0 \pm 2,04 a	81,7 \pm 2,98 b
Pirate [®]	66,7 \pm 3,33 a	85,0 \pm 2,17 b
Premio [®]	61,7 \pm 2,79 a	90,0 \pm 1,39 b
Controle	8,3 \pm 1,18 a	23,3 \pm 2,17 b

¹Médias seguidas de letras distintas na linha indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey, P <0.05.

Mortalidade corrigida pela fórmula de Henderson e Tilton (1955).

Tabela 5. Mortalidade (%) média (\pm EP) de adultos de *S. frugiperda* de 48 h de idade expostos a diferentes formulações de iscas tóxicas após período de 12 h em laboratório. Pelotas, RS, 2023.

Inseticidas	Base de atrativos alimentares ¹		
	Acttra FAW	Acttra 43SB	Noctovi
Clorpirifós Nortox EC	48,3 \pm 2,47 a	31,7 \pm 2,17 b	43,3 \pm 8,49 a
Delegate [®]	83,3 \pm 1,66 a	70,0 \pm 2,52 b	75,0 \pm 6,97 a
Karate Zeon 50 SC	85,0 \pm 1,39 a	85,0 \pm 1,39 a	73,3 \pm 8,49 b
Mustang [®] 350 EC	80,0 \pm 2,78 a	81,7 \pm 2,47 a	81,6 \pm 4,07 a
Pirate [®]	80,0 \pm 3,45 a	90,0 \pm 1,39 a	90 \pm 7,26 a
Premio [®]	90,0 \pm 1,39 a	80,0 \pm 1,90 a	68,33 \pm 10,06 b
Controle	6,67 \pm 1,39 a	3,33 \pm 0,91 a	8,33 \pm 2,63 a

¹Médias seguidas de letras distintas, na linha, indica diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey, P <0.05.

Mortalidade corrigida pela fórmula de Henderson e Tilton (1955).

Tabela 6. Mortalidade (%) média (\pm EP) de adultos de *S. frugiperda* de 48 h de idade exposto para diferentes formulados de cairomônios para isca tóxica concomitante com dieta artificial (solução de hidromel a 10%) após 12 horas de exposição em laboratório. Pelotas, RS, 2023.

Inseticidas	Base de atrativos alimentares ¹		
	Acttra FAW	Acttra 43SB	Noctovi
Clorpirifós Nortox EC	43,3 \pm 5,05 a	28,3 \pm 1,90 b	53,3 \pm 0,91 a
Delegate [®]	93,3 \pm 1,82 a	76,7 \pm 2,98 b	76,7 \pm 2,98 b
Karate Zeon 50SC	75,0 \pm 1,66 a	53,3 \pm 0,91 b	76,7 \pm 1,39 a
Mustang [®] 350 EC	60,0 \pm 2,17 b	85,0 \pm 2,17 a	80,0 \pm 1,49 a
Pirate [®]	80,0 \pm 1,90 b	93,3 \pm 2,98 a	91,7 \pm 1,67 a
Premio [®]	70,0 \pm 1,90 b	85,0 \pm 2,98 a	70,0 \pm 1,90 b
Controle	5,0 \pm 1,49 a	5,0 \pm 1,49 a	5,0 \pm 1,49 a

¹Médias seguidas de letras distintas, na linha, indica diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey, P <0.05.

Mortalidade corrigida pela fórmula de Henderson e Tilton (1955).

Tabela 7. Mortalidade (%) média de adultos de *S. frugiperda* (Linhagem resistente a Vt Pro) de 48 h de idade exposto para diferentes formulações de isca tóxica com o atrativo alimentar Noctovi® em laboratório.

Inseticidas	Mortalidade (%) \pm EP ¹
Clorpirifós EC	18,3 \pm 3,6 b
Delegate®	88,3 \pm 2,52 d
Karate Zeon 50 SC	26,7 \pm 3,97 b
Mustang 350 EC	85,0 \pm 1,39 d
Pirate®	78,3 \pm 3,45 d
Premio®	61,7 \pm 3,45 c
Controle	5,0 \pm 0,91 a

¹Médias seguidas de letras distintas (maiúscula ou minúscula), nas colunas, indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Tukey, P <0.05.

Mortalidade corrigida pela fórmula de Henderson e Tilton (1955).

Artigo 2 - A ser submetido à revista Neotropical Entomology
(Versão em português)

Silva Filho *et al.*:
Toxicidade e efeito residual
de iscas tóxicas sobre adultos de
Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae):
Implicações para o manejo.

Neotropical Entomology
Pest Management

Daniel Bernardi
Universidade Federal de Pelotas
Laboratório de Biologia de Insetos
Departamento de Fitossanidade
Cx: 354, 96010970, Pelotas/RS, Brasil
E-mail: dbernardi2004@yahoo.com.br

Toxicidade e efeito residual de iscas tóxicas sobre adultos de *Spodoptera frugiperda*
(Lepidoptera: Noctuidae): Implicações para o manejo da praga.

José Gomes da Silva Filho¹, Otavio Ribeiro Duarte², Paloma Stüpp¹, Larissa
Pasqualotto¹, Juarez da Silva Alves¹, Júlia Peralta Ferreira¹, Ruben Machota Junior³,
Lígia Caroline Bortoli³, Daniel Bernardi^{1,2}.

¹ Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas,
Pelotas, RS, Brasil

² Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Capão do
Leão, RS, Brasil

³ ISCA Tecnologias, Ijuí, RS, Brasil

*Autor correspondente

Daniel Bernardi

E-mail: dbernardi2004@yahoo.com.br

Resumo – *Spodoptera frugiperda* em seu estágio imaturo é uma importante praga culturas do milho, soja e algodão. As principais estratégias de manejo são o uso de inseticidas e de variedades de plantas transgênicas (plantas *Bts*). Entretanto, diversos casos de resistência têm sido registrados. Desta forma, o manejo de pragas com base na modificação do comportamento torna-se uma importante estratégia para a supressão populacional de insetos adultos, reduzindo a pressão de seleção e conseqüentemente os casos de resistência. O presente trabalho teve por objetivo avaliar 17 inseticidas candidatos para formulação de isca tóxica com o atrativo alimentar Noctovi[®] 43SB e verificar a toxicidade e o efeito residual de 12 formulações de isca tóxicas no manejo de adultos de *S. frugiperda*. Os experimentos foram conduzidos com insetos adultos de *S. frugiperda* com 48h de emergência e 24h privados de alimentação. Os inseticidas foram adicionados no atrativo alimentar na concentração de 2% do produto comercial (p.c.) por L⁻¹ do atrativo. Para os testes de toxicidade foram utilizadas concentrações de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0% p.c. 12 inseticidas comerciais + atrativo alimentar Noctovi[®]43SB. Para avaliar o efeito residual, 12 formulações de isca tóxica a 2% p.c. foram aplicadas sobre a parte adaxial de folhas de algodão e coletadas 3, 7, 15, 21 e 30 Dias Após a Aplicação (DAA). As iscas foram ofertadas aos insetos adultos na escotofase de 18:00h e retiradas as 06:00h sendo substituídas por uma solução de hidromel a 10% em algodão hidrófilo. Os inseticidas Novaluron, Fipronil apresentaram mortalidade ≤ 50% dos insetos adultos. Os inseticidas Indoxicarbe (95%), Malationa (95%), Espinetoram (96,66%), Metomil (96,66%) e Espinosade (100%) apresentaram as maiores taxas de mortalidade de *S. frugiperda*. Os inseticidas Metomil (CL₅₀ = 322 mg i.a. L⁻¹), Espinetoram (CL₅₀ = 816 mg i.a. L⁻¹) e Indoxacarbe (CL₅₀ = 810 mg i.a. L⁻¹) foram os inseticidas mais tóxicos para adultos de *S. frugiperda*. Os inseticidas com maior concentração letal (CL₅₀ e CL₉₀) foram o Tiodicarbe (7760,0 e 16800,0 mg i.a. L⁻¹), Espinosade (5280,0 e 7296,0 mg i.a. L⁻¹) e Zeta-cipermetrina (3040,0 e 7520,0 mg i.a. L⁻¹). Todos os inseticidas apresentaram atividade biológica ≥ 60% após 30 dias de envelhecimento. Porém, apenas os inseticidas Tiodicarbe (98,45%), Indoxicarbe (98,34%), Metoxifenoizida (95%) apresentaram atividade biológica ≥ 95% até 30 dias após o envelhecimento. O uso do atrativo alimentar Noctovi[®]43SB em formulações de isca tóxica associado aos inseticidas Espinosade, Espinetoram, Metoxifenoizida, Indoxacarbe e Clorantraniliprole se mostrou promissor para o manejo de adultos de *S. frugiperda*.

Palavras-chave: Atrativo alimentar, Noctovi, atrai e mata, Lepidoptera, MIP

Introdução

Spodoptera frugiperda (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) é um importante inseto praga, devido a sua polifagia, voracidade e a grande diversidade de espécies de plantas utilizadas como hospedeiras (Montezano et al 2018). Apesar do hábito alimentar polífago, a *S. frugiperda* apresenta preferência por plantas da família Poaceae, sendo considerada praga-chave para a cultura do milho (*Zea mays*) (Barros et al 2010). Todavia, na ausência de plantas da família Poaceae, a *S. frugiperda* ataca outras espécies de plantas, como, o algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) e a soja (*Glycine max*), principalmente quando estas culturas são estabelecidas após o cultivo do milho (Nagoshi et al 2008, Bueno et al 2011). Fatores associados ao seu potencial biológico como, produção de múltiplas gerações ao ano, alta capacidade reprodutiva e de dispersão dos insetos adultos contribuem para seu estabelecimento e danos nos cultivos (Farias et al 2014). Nativa das Américas, a *S. frugiperda* encontra-se distribuída por vários países, como Brasil, Argentina e Estados Unidos, havendo registro da praga nos continentes Africano, Asiático e, mais recentemente, na Oceania (Goergen et al 2016, Kalleshwaraswamy et al 2018).

Para reduzir os danos ocasionados pela espécie, diversos métodos de controle são empregados (Assefa e Ayalew 2019), com destaque, ao uso de inseticidas sintéticos e tecnologias de plantas que expressam proteínas inseticidas derivadas de *Bacillus thuringensis* (plantas *Bts*). Porém, com o uso frequente e inadequado destas tecnologias tem-se evoluído os casos de resistência que comprometem a eficácia destas ferramentas de manejo (Carvalho et al 2013, Burtet et al 2017). Atualmente há diversos casos de resistências da *S. frugiperda* para os grupos químicos de inseticidas Piretroides, Organofosforados, Benzoilureias, Espinosinas e Diamidas antranílicas (Kanno et al 2010, Carvalho et al 2013, Horikoshi et al 2016, Bolzan et al 2019, Paredes-Sánchez et

al 2021). Assim como, a praga tem evoluído para a resistência a diferentes tecnologias de plantas *Bt*s, principalmente, para proteínas como Cry1F (Boaventura *et al* 2020), Cry1Ab (Omoto *et al* 2016) e, possibilidade de perdas de suscetibilidade a Cry1A.105+Cry2Ab2 (Bernardi *et al* 2015) e Vip3Aa (Bernardi *et al* 2016).

Frente a isso o desenvolvimento para o uso de novas ferramentas de manejo (Midega *et al* 2018, Harrison *et al* 2019) como os semioquímicos, que tem ganhado importância no manejo da praga, tanto para programas de monitoramento, captura massal e confundimento (disrupção) sexual dos indivíduos machos nas áreas de cultivo (Howse *et al* 1998, Zarbin *et al* 2009, Justiniano e Fernandes 2020). Das diferentes abordagens de manejo de pragas que usam semioquímicos como base de atração e controle, a técnica atrai e mata (*Attract & Kill*) é uma ferramenta de ação direta de controle que visa a retirada de indivíduos machos e fêmeas da área de cultivo (Camelo *et al* 2007, El Sayed *et al* 2009, Landolt *et al* 2014, Gregg *et al* 2016, Gregg *et al* 2018). Além disso, também propicia a redução ou eliminação de pulverização de inseticidas em área total de cultivo com o inseticida reduzindo os potenciais efeitos prejudiciais letais a agentes benéficos (Cardé e Minks 1995, Gregg *et al* 2018).

O uso de formulações de atrai e mata conhecidas como iscas tóxicas são caracterizadas por modificar o comportamento dos insetos adulto através da mistura de um atrativo (na maioria dos casos, atrativo alimentar), um componente fagoestimulante e um agente letal (inseticida) que propicia a mortalidade dos indivíduos que entram em contato com a mistura (Foster e Harris 1997, Gregg *et al* 2018). Para a formulação de substâncias atrai e mata, diversos estudos estão sendo realizados e, atualmente na Austrália, tem sido empregado o atrativo alimentar Magnet[®] em mistura com o inseticida Tiodicarbe para manejar *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) em algodoeiro (Gregg *et al* 2016). Assim como, na China, os agricultores

têm empregados um formulado a base de cairomônios conhecida como bioattract Heli[®] infundada com o inseticida Metomil que tem demonstrado redução da densidade populacional e redução de danos por imaturos de *H. armigera* nas áreas de cultivo (Wang *et al* 2023). No Brasil, o uso de iscas tóxicas tem sido estudada para o manejo *H. armigera* (Hübner) , *Chloridea virescens* (Fabricius, 1781) e *S. frugiperda* utilizando os atrativos Noctovi[®] (Iscas Tecnologias) e Chamariz[®] (AgBitech) em mistura com inseticida que apresente ação rápida (*knock-down*) como Metomil (Justiano *et al* 2021, Costa e Cabral 2023).

Embora eficiente, as iscas tóxicas podem perder a toxicidade sobre as pragas por diferentes fatores, como: 1) Eventos de precipitação pluviométrica (chuva), devido a diluição da formulação tornando-a menos tóxica a praga (Baronio *et al* 2019), 2) rápida perda de atratividade dos compostos voláteis (Piñero *et al* 2010) e 3) degradação do ingrediente ativo devido a ação da radiação solar (Losel *et al* 2002).

Frente a esse cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar inseticidas com modo de ação distintos em formulações com o atrativo Noctovi[®] e o efeito residual sobre os adultos de *S. frugiperda*.

Material e Métodos

Insetos

Os insetos utilizados nos bioensaios foram oriundos de uma população de *S. frugiperda* coletada em milho não-Bt durante a safra 2021/2022 em Campo Verde, MT, Brasil (15°18'34,643" S e 54°53'47,681" W). A população de *S. frugiperda* é mantida em laboratório por 18 gerações em dieta artificial à base de feijão branco, gérmen de trigo e levedura (Adaptada de Greene *et al* 1976). Os insetos adultos da população estudada foram mantidos em gaiolas de cano PVC revestidas com papel ofício

recicláveis como substrato de oviposição e alimentados com uma solução de hidromel a 10% (v/v).

Inseticidas

Os inseticidas utilizados para formulação da isca tóxica são descritos na Tabela 1 e foram adquiridos em revendas no município de Campo Verde, MT, Brasil. O atrativo Noctovi[®] 43SB ((Z)-11-Hexadecenal (Z11-16:Ald); (Z)-9-Hexadecenal (Z9-16; Ald)) foi disponibilizado pela ISCA Tecnologias.

Bioensaio de seleção de inseticidas

Os bioensaios foram realizados utilizando gaiolas plásticas de Polietileno Tereftalato (PET) de 500 mL de volume. Em cada gaiola foram acondicionados seis insetos adultos (três casais) com 48 h de emergência e privados de alimentação por 24 horas. Para a formulação da isca tóxica foram utilizados diferentes inseticidas (Tabela 1) na concentração de 2,0% do produto comercial em mistura com o atrativo alimentar Noctovi[®] 43 SB (ISCA Tecnologias) ((Z)-11-Hexadecenal (Z11-16:Ald); (Z)-9-Hexadecenal (Z9-16; Ald)), não diluído. Após a obtenção da solução, foi oferecida uma gota de 50 µL depositada sobre uma placa plástica de 4,0 cm² aos adultos de *S. frugiperda* no período da escotofase das 18:00h e retirada as 06:00h. Após 12 h de oferecimento, as iscas foram retiradas e os adultos de *S. frugiperda* alimentados com uma solução de hidromel a 10% em algodão hidrófilo ofertado em recipientes plásticos de 20 mm de diâmetro. Como controle negativo, foram utilizados insetos alimentados somente com o atrativo alimentar Noctovi[®] 43SB. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 17 inseticidas (Tratamentos), sendo cada composto por cinco repetições (três casais de *S. frugiperda* por repetição). A mortalidade dos adultos

de *S. frugiperda* foi avaliada em intervalos de 24 h durante 120 h. Todos os bioensaios foram realizados em salas climatizadas com temperaturas de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 h.

Concentração resposta de iscas tóxicas a adultos de S. frugiperda

Os inseticidas mais promissores foram estudados novamente para estimar os valores de CL_{50} e CL_{90} (concentrações letais necessárias para matar 50% e 90% dos adultos de *S. frugiperda*, respectivamente). Para tanto, foram definidas cinco concentrações (0,5; 1,0; 1,5, e 2,0% do produto comercial presente nos produtos comerciais) com base no procedimento de Finney (1971). Os procedimentos e critérios de exposição e avaliação foram idênticos aos dos testes iniciais. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis insetos por concentração (tratamento), sendo cada tratamento composto por cinco repetições (três casais de *S. frugiperda* por repetição). A mortalidade dos adultos de *S. frugiperda* foi avaliada em intervalos de 24 h durante 120 h. Os indivíduos que não apresentavam movimento equivalente ao comprimento de seu corpo eram considerados mortos. A eficácia de cada tratamento foi calculada utilizando a fórmula de Henderson e Tilton (1955).

Efeito da ausência de chuva na eficácia de iscas tóxicas em adultos de S. frugiperda

Para avaliar o efeito residual de iscas tóxicas na ausência de chuva foram utilizadas mudas de algodoeiro da var. 'TMG44B2RF', cultivadas em vasos plásticos com capacidade de 5 L (uma planta por vaso) e mantidos no interior da casa de vegetação (T $25,3^\circ\text{C}$, UR 47% e fotofase 11,5h). No estágio fenológico B1 foram aplicadas gotas de $50\mu\text{L}$ das formulações das iscas na face adaxial das folhas com auxílio de uma micropipeta monocanal automática de $100\mu\text{L}$ (PEGUEPET®). As

formulações dos isolados de iscas tóxicas (tratamentos) foram feitas utilizando 12 inseticidas na concentração de 2,0% do produto comercial em mistura com o atrativo alimentar Noctovi[®] 43SB. Após a aplicação dos tratamentos, decorrido 3, 7, 15, 21 e 30 Dias Após a Aplicação (DAA) folhas de algodoeiro contendo uma gota da solução foram retiradas da planta e oferecidas a adultos de *S. frugiperda*. Para isso, as folhas tratadas com as iscas tóxicas foram destacadas da planta e levadas ao laboratório. No laboratório, as folhas foram recortadas em forma de disco (4 cm²) na região da gota de aplicação e disposta sobre um recipiente plástico de 2,0 cm de diâmetro revestido com uma porção de algodão hidrófilo úmido. Posteriormente, os discos foliares foram submetidas à câmara úmida por 1h hidratação da formulação (simulando o orvalho noturno) e, posteriormente, foram fornecidas aos insetos adultos de *S. frugiperda* com 48 h de idade e privados de alimentação por 24 h. Para cada data de avaliação (DAA), as iscas foram fornecidas durante a escotofase das 18:00h até as 6:00h. Decorrido 12h de oferecimento, as iscas foram retiradas e os insetos alimentados com solução de hidromel a 10% conforme descrito anteriormente. O tratamento controle foi estabelecido com insetos da mesma população e mesma idade conforme descrito anteriormente. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 12 tratamentos (formulações de iscas), sendo cada tratamento e data de avaliação composta com 5 repetições (três casais de *S. frugiperda* por repetição). Todos os bioensaios foram conduzidos em salas climatizadas com temperaturas de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 h. A mortalidade foi avaliada diariamente por um período de 5 dias. Os indivíduos que não apresentavam movimento equivalente ao comprimento de seu corpo eram considerados mortos. A eficácia de cada tratamento foi calculada utilizando a fórmula de Henderson e Tilton (1955).

Análise estatística

Para todos os bioensaios (toxicidade e efeito residual), os dados de mortalidade de adultos de *S. frugiperda* foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA). Para os resíduos que não apresentaram distribuição normal ou homogeneidade da variância, os dados foram transformados em ARCSIN (SQRT (x)). Após a transformação, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey. As diferenças entre os tratamentos foram determinadas usando declarações de médias mínimas quadradas (LSMEANS) com um nível de significância $P = 0,05$. Um modelo binomial com função de ligação log-log complementar (modelo gompit) foi utilizado para estimar as concentrações letais (CL_{50} e CL_{90}) utilizando o Procedimento Probit no pacote de *software* estatístico SAS versão 9.2 (SAS Institute, 2011).

Resultados

De todos os inseticidas Indoxicarbe, Malathiom, Espinetoram, Metomil e Espinosade apresentaram mortalidade $\geq 95\%$ para adultos de *S. frugiperda* não diferindo estatisticamente entre si ($F = 22,98$; gl. = 16, 84; $P < 0,0001$) (Figura 1). Por outro lado, os inseticidas Clorantranilprole, Novalurom, Extrato vegetal de *Allium sativum* e Fipronil apresentam mortalidade inferior a 70%.

Em relação à concentração-resposta, as iscas tóxicas formuladas com os inseticidas Metomil ($CL_{50} = 322,0 \text{ mg L}^{-1}$), Indoxacarbe ($CL_{50} = 810 \text{ mg L}^{-1}$) e Espinetoram ($CL_{50} = 816,0 \text{ mg L}^{-1}$) apresentaram as maiores toxicidade sobre adultos de *S. frugiperda* (Tabela 2). Fato semelhante quando estimado os valores da CL_{90} [(Tiodicarbe: $16800,0 \text{ mg L}^{-1}$, Metoxifenoziata: $7464,0 \text{ mg L}^{-1}$ e Malatiom: $9000,0 \text{ mg L}^{-1}$)] (Tabela 2). Em contraste, com base nos valores de CL_{50} e CL_{90} , as iscas tóxicas com a presença de Tiodicarbe, Espinosade e Zeta-cipermetrina proporcionaram as menores toxicidades (Tabela 2).

Com base nos resultados de efeito residual na ausência de chuva, foi observado que não houve diferença estatística na mortalidade de adultos de *S. frugiperda* para todos os inseticidas testados após três dias de envelhecimento em casa de vegetação ($F = 12,45$, $GL = 11, 55$; $P < 0,0001$) (Tabela 3). Os inseticidas Metomil e Espinosade apresentaram mortalidade de 100% após três dias de envelhecimento. Porém, aos 7DAA (78%) ($F = 17,11$; $GL = 11,55$; $P < 0,0001$) 15DAA (44%) ($F = 10,45$; $GL = 11,55$; $P < 0,0001$), 21DAA (46%) ($F = 18,10$; $GL = 11,55$; $P < 0,0001$) e 30DAA (54%) ($F = 9,04$; $GL = 11,55$; $P < 0,0001$) dias de envelhecimento o inseticida Malationa apresentou as menores porcentagens de mortalidade de insetos adultos de *S. frugiperda* (Tabela 3). Porém, as demais formulações de iscas tóxicas, proporcionaram mortalidades superiores a 70% em todas as avaliações (Tabela 3). O inseticida Metomil, considerado o padrão para as formulações das iscas tóxicas no manejo de lepidópteros, apresentou mortalidade de adultos de *S. frugiperda* $> 80\%$ aos 30 dias ($F = 4,11$; $GL = 4, 16$; $P < 0,0001$).

Discussão

Os resultados demonstraram que a escolha do agente letal para compor as iscas tóxicas é fundamental, uma vez que, Espinosade, Metomil, Benzoato de emamectina, Tiodicarbe, Metoxifenoazida, Indoxacarbe, Malathion e Espinetoram foram mais tóxicos para os insetos adultos de *S. frugiperda* apresentando porcentagens de mortalidade $\geq 90\%$. Já os inseticidas Novaluron e Fipronil promoveram mortalidade de adultos de *S. frugiperda* inferiores a 60%. A eficiência da técnica do atrai e mata está associada à capacidade atrativa dos formulados (atrativos alimentares), assim como, do componente fagoestimulante que induz a busca e a estimulação dos insetos para se alimentarem da isca tóxica (Nestel *et al* 2004, Baldin *et al* 2018). Fatores chaves como a

formação da mistura, a dose, a formulação, a densidade de distribuição do semioquímico (feromônio, cairomônios), o agente letal (inseticida) e a dose dele empregada contribui para o sucesso desta técnica de manejo, uma vez que, a presença inadequada deste componente compromete a capacidade dos semioquímicos de atrair e induzir o contato com as formulações de isca tóxica (El Sayed *et al* 2009).

Características associadas ao agente letal, como, a) eficácia em baixas concentrações produzindo resultados igual as doses recomendadas, b) falta de efeitos repelentes e ou deterrente no comportamento das mariposas, c) persistência semelhante à atratividade do composto atrativo, d) ausência ou efeito reduzido sobre organismo não-alvo, e) rápida incapacitação e morte dos insetos tornam-se essenciais para eleger um inseticida para compor formulações de iscas tóxicas (Del Socorro *et al* 2010, Yee e Alston, 2016) Os inseticidas são formulados para o manejo dos estágios imaturos das pragas e estes apresentam um sistema olfatório mais rudimentar quando comparados ao estágio adulto (Rharrabe *et al* 2014, Rodriguez-Saona *et al* 2016).

Dos inseticidas candidatos para a formulação de isca tóxica foi observado variação nas porcentagens de mortalidade, e dentre os inseticidas recomendados para o manejo de *S. frugiperda* o Espinosade (100%), Metomil (96,66%) e Indoxacarbe (95%) apresentaram porcentagens $\geq 95\%$. Resultados semelhantes foram encontrados por Del Socorro *et al* (2010) para *H. armigera* obtendo-se 100% de mortalidade para os inseticidas Lannate (Metomil) e Success (Espinosade) em formulado base de isca tóxica. Yee e Alston (2016) também constataram 100% de mortalidade de insetos adultos de *Rhagoletes indifferens* (Diptera: Tephritidae) quando submetidas à isca tóxica em combinação com sacarose e Espinosade. Estudos conduzidos por Schultze *et al* (2018) indicam que formulados de isca tóxica com proteína hidrolisada misturadas com

o inseticida Espinosade apresentaram maior toxicidade para indivíduos adultos de *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) dependendo do atrativo alimentar usado

Logo, a pesquisa de agentes letais é um passo importante para o emprego do sistema de atrai e mata, uma vez que, variações na porcentagem de mortalidade podem estar associadas à espécie, estágio de desenvolvimento, inseticida e concentração empregada (Rharrabe *et al* 2014, Rodriguez-Saona *et al* 2016). Pesquisando inseticidas sintéticos para compor futuras formulações de isca tóxica para as espécies de *H. armigera*, *Agrotis ipsilon* e *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae), Liu *et al* (2017) encontraram 100% de mortalidade para os inseticidas Indoxacarbe, Espinosade e Metomil. Comportamento semelhante foi encontrado por Mensah *et al* (2013) na busca de inseticidas adequados para formulações com o atrativo Magnet[®] e identificaram os inseticidas Espinosade, Metomil e Tiodicarbe. Este fato ocorreu devido à rápida incapacitação das mariposas, resultando em menor densidade populacional da praga nas áreas de cultivo.

Considerado o inseticida como uma ferramenta chave nas formulações de iscas tóxicas para manejo de lepidópteros-pragas, o inseticida Metomil tem demonstrado ser referência como agente em bioensaios de laboratório e campo. Essa capacidade de controle foi constatada por Justiano *et al* (2021) usando a isca tóxica formulada a partir do atrativo alimentar Noctovi[®]. Na China, Wang *et al* (2023) aplicaram a isca tóxica infundida com o inseticida Metomil “conhecida como bio-bait Bioattract[®]-Heli” e constataram também redução na população de *H. armigera* e na quantidade de ovos, e obtiveram aumento de 6 a 8% no rendimento da cultura do milho.

O inseticida Tiodicarbe empregado na formulação de isca tóxica em nosso trabalho demonstrou uma efetividade de controle de 90% de adultos de *S. frugiperda*. Em estudos de campo utilizando o inseticida Tiodicarbe em mistura com o atrativo

Magnet[®], Mensah e McPherson (2010) encontraram redução na densidade populacional de espécies *Helicoverpa* em campos de algodão Bollgar II[®]. Os autores também destacam que as áreas tratadas influenciaram na redução do número de indivíduos de *Helicoverpa spp.* em algodão convencional não-tratado e áreas adjacentes do estudo (controle). Comportamento semelhante foi relatado por Gregg *et al* (2022) em áreas de algodão convencional destacando a eficiência do uso da isca tóxica (Magnet[®] + Tiodicarbe) no manejo de espécies de *Helicoverpa* obtendo-se uma redução na densidade populacional da praga de 50% como medidas de controle curativo e de 90% para estratégias de controle preventivo.

No presente estudo, foi verificado que o inseticida Metomil (322,0 mg i.a. L⁻¹) foi mais tóxico para *S. frugiperda* seguido pelos inseticidas Indoxicarbe (810,0 mg i.a. L⁻¹) e Espinetoram (816,0 mg i.a. L⁻¹). O inseticida Tiodicarbe (7760,0 mg i.a. L⁻¹) precisou de aproximadamente 24 vezes o valor da concentração do inseticida Metomil para obter 50% de mortalidade dos insetos testados. Del Socorro *et al* (2010) encontrou mortalidade de 100% de indivíduos adultos de *H. armigera* para o inseticida Metomil em concentrações de 107,5 mg i.a. L⁻¹ em formulado base de isca tóxica. No mesmo estudo, os autores também verificaram mortalidade de 100% para o inseticida Tiodicarbe em uma concentração de 0,05% de ingrediente ativo do inseticida comercial.

Os inseticidas Tiodicarbe, Espinosade e Zeta-cipermetrina foram os que apresentaram a menor toxicidade sobre adultos de *S. frugiperda*. Estudando a eficiência da isca tóxica GF-120 em diferentes diluições, Revis *et al* (2004) não encontraram diferença significativa na mortalidade de adultos de *Bractocera curcubitae* (Diptera: Tephritidae) em concentrações de até 10 ppm de Espinosade (mortalidade > 80%). Resultados semelhantes também foram encontrados por Del Socorro *et al* (2010), para o inseticida Success, onde concentrações de 0,04, 0,08 e 0,16% i.a. do produto comercial

resultaram em mortalidade de 100% de indivíduos de *H. armigera*. Em nosso estudo verificamos que os inseticidas Metomil, Espinetoram e Indoxacarbe em 1160, 3640 e 2610, mg i.a. L⁻¹ atingiram 95% de mortalidade. Liu *et al* (2017) encontraram 100% de mortalidade de adultos de *H. armigera* para os inseticidas Clorantraniliprole, Benzoato de emamectina, Indoxacarbe, Tiodicarbe, Espinetoram e Espinosade na concentração de 100 mg i.a. L⁻¹ de isca tóxica. No mesmo estudo, os autores verificaram 100% de mortalidade de adultos de *S. litura* para os inseticidas Clorantraniliprole, Benzoato de emamectina e Espinosade em concentração de 1,0 mg i.a. L⁻¹. Zhang *et al* (2020) encontraram 75,7 e 67% de mortalidade de insetos adultos de *H. armigera* usando uma mistura de isca tóxica de Bioattract + Clorantraniliprole nas concentrações de 0,25 e 0,125 µL/mL, respectivamente. Baldim *et al* (2018) verificaram que os inseticidas Espinetoram e Espinosade nas concentrações de 3,7 e 7,8 mg i.a. L⁻¹ promoveram 95% de mortalidade de indivíduos adultos de *C. capitata*.

A utilização de formulações com baixa concentração de ingrediente ativo tende a apresentar menor período residual necessitando, de um maior número de reaplicações da isca tóxica a depender das condições ambientais (Harter *et al* 2015). Assim como, concentrações baixas de ingrediente ativo nas formulações podem não incapacitar o inseto adulto após a alimentação possibilitando a realização de posturas e ocasionando danos às culturas agrícolas (Mangan *et al* 2006).

Nos bioensaios de efeito residual verificamos o inseticida Malationa apresentou porcentagem mortalidade de indivíduos adultos de *S. frugiperda* inferior a 60% após 30 DAA. O inseticida Metomil apresentou 100% de mortalidade até 15 DAA da isca tóxica, seguido pelos inseticidas Espinosade, (7) e Tiodicarbe (3).

Corroborando com nosso resultado, Del Socorro *et al* (2010) em experimentos de campo de algodão usando uma formulação base de isca tóxica para manejar as

espécies de *H. armigera* e *Helicoverpa punctigera* (Lepidoptera: Noctuidae) em cultivo de algodão verificaram atividade biológica (mortalidade) do atrativo alimentar com o inseticida Metomil após 4 dias de aplicação do tratamento. Estudando a formulação de isca tóxica (5% de açúcar + 1% de leite em pó) em mistura com os inseticidas Metomil e Espinosade para o controle de *Musca domestica* (Diptera: Muscidae), White *et al* (2017) observaram redução da atividade biológica dos formulados após 21 dias. Todavia, a mortalidade dos insetos adultos foi $\geq 70\%$. Estudando a degradação e a atividade biológica de isca tóxicas formuladas com os inseticidas Cipermetrina, Lambda-cialotrina, Tiaclopride + Deltametrina e Espinosade para o controle *Bractocera oleae* (Diptera: Tephritidae), Varikou *et al* (2017) verificaram reduções na quantidade do ingrediente ativo e na mortalidade da espécie por um período de envelhecimento de oito semanas. Porém em nosso estudo, foi verificada mortalidade de 70% dos adultos de *S. frugiperda* 30 dias após a aplicação da isca tóxica com Espinosade. Contudo, cabe destacar que as formulações testadas apresentaram altos níveis de mortalidade nos dois primeiros dias de envelhecimento ($\geq 90\%$). Gazit *et al* (2013) encontraram redução da atividade biológica da isca tóxica GF-120 após um período de 10 dias de envelhecimento obtendo mortalidade inferior a 20% para o controle de *C. capitata*.

Iscas tóxicas no sistema atrai-e-mata sofrem alterações da capacidade atrativa após períodos de exposição as condições ambientais quando comparadas com formulações de iscas frescas (Mansour, 2010). Após longos períodos de exposição às condições ambientais as iscas tóxicas tem redução da taxa de liberação dos compostos voláteis presentes nas formulações, degradação do ingrediente ativo inseticida utilizado, além de, acumular partículas de poeiras na superfície diminuindo sua eficiência (Losel *et al* 2002). Segundo Charmilot *et al* (2000) dependendo das regiões onde são aplicadas as tecnologias associadas ao sistema de atrai e mata, em especial as

iscas tóxicas, se deve atentar para aplicações extras em virtude das altas temperaturas, intensidade de radiação e partículas de poeira que reduzem a eficiência de controle.

Fatores ambientais, ecológicos e operacionais podem comprometer a eficiências das iscas tóxicas no campo. Em estudo realizado por Gazit *et al* (2013) a toxicidade residual de formulações de isca tóxicas (GF-120) é afetada pelo diâmetro da gota. Os autores verificaram que gotas menores que 5,0 mm de diâmetro apresentaram maior redução na atratividade e na atividade biológica da isca tóxica em até 10 dias (gotas > 5,0 mm, mortalidade de 58%, < 5,0 mm, mortalidade de 22%). Este comportamento foi associado a fatores ecológicos (insetos não-alvos alimentando-se da isca) e ambientais (degradação acelerada do ingrediente ativo). Para Vargas *et al* (2002), a redução da atividade biológica de iscas tóxicas, em especial a GF-120 com o inseticida Espinosade é dependente do conteúdo proteico presente na isca que diminui com o passar do tempo afetando a atratividade. Revis *et al* (2004) sugerem que a redução da atratividade da isca tóxica podem ocorrer em função do envelhecimento da isca, assim como, por fatores ambientais com umidade relativa do ar, temperatura e chuva.

Com base nos resultados, fica evidente que o uso de isca tóxica como ferramenta de manejo de *S. frugiperda* torna-se-a um importante elemento na construção de práticas de manejo integrado. Os inseticidas Metomil, Espinosade e Tiodicarbe se apresentaram como inseticidas candidatos para a formulação de isca tóxica. O atrativo alimentar Noctovi[®] 43 SB apresentou atratividade de até 30 dias após envelhecimento em casa de vegetação, promovendo mortalidade superior a 70% para 11 inseticidas testados. O inseticida Malationa não demonstra eficiência de adultos de *S. frugiperda*. Os inseticidas Indoxicarbe, Espinetoram, Metoxifenoizida, Tiodicarbe,

Metomil, Clorantraniliprole e Benzoato de emamectina apresentaram atividade biológica (mortalidade) superior a 80% após um período de envelhecimento de 30 dias.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Pelotas – FAEM/UFPel, por disponibilizar a infraestrutura e equipamentos necessários para a realização deste estudo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de doutorado (Processos 142587/2019-2 GM/GD).

Declaração de Conflito de Interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Declaração de Contribuição dos Autores

JGSF, ORD, PS, LP, JSA, LCB e DB conduziram, analisaram e escreveram o manuscrito. RMJ e DB revisaram o manuscrito.

Referências

- Assefa F, Ayalew D (2019) Status and control measures of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestations in maize fields in Ethiopia: a review. *Congent Food e Agric.*, 5: 1-16.
- Baldin MM, Schutze IX, Baronio CA, Mello Garcia FR, Botton M (2018) Concentration and lethal time of toxic baits based on spinosyns on *Ceratitidis capitata* and *Diachasmimorpha longicaudata*. *Pesq. Agropec. Trop.* 48: 323-330.
- Baronio CA, Schutze IX, Nunes MZ, Bernardi D, Machota Junior R, Bortoli LC, Arioli CJ, Garcia FRM, Botton M (2019). Toxicities and residual effect of spinosad and

- alpha-cypermethrin-based baits to replace malathion for *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) control. J. Econ. Entomol. 112: 1798-1804.
- Barros EM, Torres JB, Ruberson JR, Oliveira MD (2010) Development of *Spodoptera frugiperda* on different hosts and damage to reproductive structures in cotton. Entomol. Exp. Appl. 137: 237-245.
- Bentivenha JPF, Rodrigues JG, Lima MF, Marçon P, Popham HJR, Omoto C (2019) Baseline susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to SfMNPV e evaluation of cross-resistance to major insecticides and *Bt* proteins. J. Econ. Entomol. 112: 91-98.
- Bernardi O, Bernardi D, Horikoshi RJ, Okuma DM, Miraldo LL, Fatoretto J, Medeiros FC, Burd T, Omoto C (2016) Selection and characterization of resistance to Vip3AA20 protein from *Bacillus thuringiensis* in *Spodoptera frugiperda*. Pest Manag. Sci. 72: 1794-1802.
- Boaventura D, Ulrich J, Lueke B, Bolzan A, Okuma D, Gutbrod O, Zeng Q, Dourado PM, Martinelli S, Flagel L, Head G, Nauen R (2020) Molecular characterization of Cry1F resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* from Brazil. Insect Biochem. Mol. Biol. 116: e-103280.
- Bolzan A, Padovez FEO, Nascimento ARB, Kaiser IS, Lira EC, Amaral FSA, Kanno RH, Malaquias JB, Omoto C (2019) Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides. Pest Manag. Sci. 75: 2682-2689.
- Bueno RCOF, Bueno AF, Moscardi F, Parra JRP, Hoffman-Campo CB (2011) Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for development multiple-

- species economic thresholds for pest management decisions. *Pest Manag. Sci.* 67: 170-174.
- Burtet LM, Bernardi O, Melo AA, Pes SM, Strahl TT, Guedes JVC (2017) Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), with *Bt* maize and insecticides in southern Brazil. *Pest Manag. Sci.* 73: 2569-2577.
- Camelo LA, Landolt PJ, Zack RS (2007) Kairomones based attract-and-kill system effective against alfalfa looper (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 100: 366-374.
- Cardé RT, Minks AK (1995) Control of moth pests by mating disruption successes and constraints. *Ann. Rev. Entomol.* 40: 559-585.
- Carvalho RA, Omoto C, Field LM, Williamson MS, Bass C (2013) Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *PloS One*, 8: 1-11.
- Charmillot PJ, Hofer D, Pasquier D (2000) Attract and kill: a new method for control of the codling moth, *Cydia pomonella* (L.). *Ent. Exp. Appl.* 94: 211-216.
- Costa FLCP, Cabral C (2023) Desempenho in vitro do atrativo alimentar para lepidópteros-praga no índice de parasitismo de *Trichogramma pretiosum* em ovos de *Helicoverpa armigera* no tomateiro. *Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa*, 1: 1-15.
- Del Socorro AP, Gregg PC, Hawes AJ (2010b) Development of a synthetic plant volatile-based attracticide for female noctuid moth. III. Insecticides for adult *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Aust J. Entomol.* 49:31-39.
- El Sayed AM, Suckling DM, Byers JA, Jang EB, Wearing CH (2009) Potential of “lure and kill” in long-term pest management and eradication of invasive species. *J. Econ. Entomol.* 103: 815-835.

- FariasJR, AndowDA, Horikoshi RJ, Sorgatto RJ, FresiaP, dos Santos AC, Omoto C (2014) Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Prot.* 64:150-158
- Foster SP, Harris MO (1997) Behavioral manipulation methods for insect pest-management. *Annu. Rev. Entomol.* 42: 123-146.
- Gazit Y, Gavriel S, Akiva R, Timar D (2013) Toxicity of baited spinosad formulations to *Ceratitis capitata*: from the laboratory to the application. *Entomol. Exp. Appl.* 147: 120-125.
- Goergen GP, Kumar PL, Snkung SB, Togola A, Tamó M (2016) First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PloS One*, 11: 1-9.
- Gregg PC, Del Socorro AP, Hawes AP, Binns MR (2016) Development bisexual attract-and-kill for polyphagous insects: Ecological rationale versus pragmatics. *J. Chem. Ecol.* 42: 666-675.
- Gregg PC, Del Socorro AP, Wilson S, Knight KM, Binns M, Aemytage P (2022) Bisexual attract-and-kill: a novel component of resistance management for transgenic cotton in Australia. *J. Econ. Entomol.* 115: 826-834.
- Gregg PC, Del Socorro AP, Landolt PJ (2018) Advances in attract-and -kill for agricultural pests: beyond pheromones. *Annu. Rev. of Entomol.* 63:453-470.
- Harrison RD, Thiefelder C, Baudron F, Chiwada P, Midega C, Schaffner U, Van Den Berg J (2019) Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: providing low-cost, smallholder friendly solutions to na invasive pest. *J. Env. Manag.* 243: 318-330.
- Harter WR, Botton M, Nava DE, Grutzmacher AD, Gonçalves RS, Machotta Junior R, Bernardi D, Zanardi OZ (2015) Toxicities and residual effects baits containing

- spinosad or malathion to control the adult *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae). Fla Entomol, 98: 202-208.
- Horikoshi RJ, Bernardi D, Bernardi O, Malaquias JB, Okuma DM, Miraldo LL, Amaral FSA, Omoto C (2016) Effective dominance of resistance of *Spodoptera frugiperda* to *Bt* maize and cotton varieties: implications for resistance management. Sci. Rep, 6: 1-8.
- Howse PE, Stevens IDR, Jones OT (1998) Insect pheromones and their use in the pest management. Springer, Dordrecht, 377 p.
- Justiano W, Fernandes MG (2020) Effect of food attractants and insecticides toxicity for the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) adults. J. Agric. Sci. 12: 1-9.
- Justiano W, Fernandes MG, Raizer J (2021) Toxic bait as an alternative tool in the management of *Spodoptera frugiperda* in second corn crops. J. Agric. Sci. 13: 102 - 112.
- Kalleshwaraswamy CM, Maruthi MS, Pavithra HB (2018) Biology of invasive fall army worm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize. Indian J. Entomol. 80: 540-543.
- Landolt PJ, Ohler B, Lo P, Cha D, Davis TS, Suckling DM, Brunner J (2014) N-Butyl sulfide as an attractant and co-attractant for male and female codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). Env. Entomol. 43: 291-297.
- Liu Y, Gao, Y, Liang, G, Lu Y (2017) Chlorantraniliprole as a candidate pesticide used in combination with the attractants for lepidopteran moths. PloS One, 12: 1-10.
- Losel P, Potting R, Ebbinghaus D, Scherckenbeck J (2002) Factors affecting the field performance of attractants against the codling moth *Cydia pomonella*. Pest Manag. Sci 58:1029-1037.

- Lunagariya MV, Zala MB, Varma HS, Suthar MD, Patel MB, Patel BN, Borad PK (2020) Efficacy of poison baits against fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) infesting maize. *J. Entomol. Zool. Stud.* 8: 2251-2256.
- Mangan R, Moreno DS, Thompson GD (2006) Bait dilution, spinosad concentration, and efficacy of GF-120 based fruit fly sprays. *Crop Prot.* 2: 125-133.
- Mansour M (2010) Attract and kill for codling moth *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Tortricidae) control in Syria. *J. Appl. Entomol.* 134: 234-242.
- Mensah RK, Gregg PC, Del Socorro AP, Moore CJ, Hawes AJ, Watts N (2013) Integrated pest management in cotton: exploiting behaviour-modifying (semiochemical) compounds for managing cotton pests. *Crop Pasture Sci.* 64: 763-773.
- Mensah RK, MacPherson I (2010) Lure-and-kill as reduced-risk strategy for managing *Helicoverpa* spp. on conventional cotton crops within transgenic cotton fields. *J. Biol. Control.* 24: 91-103.
- Montezano DG, Specht A, Saosa-Gómez DR, Roque-Specht VF, Sousa-Silva JC, Paula-Moraes SV, Peterson JA, Hunt TE (2016) Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomol.* 26: 286-300.
- Nagoshi RN, Meagher RL, Flanders K, Gore J, Jackson R, Lopez J, Armstrong JS, Buntin D, Sansone C, Leonard BR (2008) Using halotypes to monitor the migratory of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) corn – strain population from Texas and Florida. *J. Econ. Entomol.* 101: 742-749.
- Nestel D, Nemny-Lavy E, Zilberg L, Weiss M, Akiva R, Gazit Y (2004) The fruit fly PUB: a phagostimulation unit bioassay system to quantitatively measure ingestion of bait by individual flies. *J. Appl. Entomol.* 128: 576-582.

- Omoto C, Bernardi O, Salmeron E, Sorgatto RJ, Dourado PM, Crivellari A, Carvalho RA, Willse A, Martinelli S, Head GP (2016) Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Manag. Sci.*79: 1727-1736, 2016.
- Paredes-Sánchez FA, Rivera G, Bocanegra-García V, Martínez-Padrón HY, Berrones-Morales M, Niño-García N, Herrera-Mayorga V(2021) Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*. A review. *Molecules*, 26: 1-19.
- Piñero JC, Souder SK, Vargas RI (2010) Comparison of rain-fast bait stations versus foliar baits spray for control fruit fly, *Bractocera dorsalis*, in papaya orchards in Hawaii. *J. Insect Sci.* 10: 1-13.
- Raga A, Sato ME, (2005) Effect of spinosad bait against *Ceratitidis capitata* (Wied.) and *Anastrepha fraterculus* (Wied) (Diptera: Tephritidae) in laboratory. *Crop Prot.* 34: 815-822.
- Revis HC, Miller NW, Vargas RI (2004) Effects of aging and dilution on attraction and toxicity of GF-120 fruit fly bait spray for melon fly control in Hawaii. *J. Econ. Entomol.* 97: 1659-1665.
- Rharrabe K, Jacquin-Joly, E, Marion-Poll F (2014) Electrophysiological and behavioral response of *Spodoptera littoralis* caterpillars to attractive and repellent plant volatiles. *Front. Ecol. Evol.* 2: 1-9.
- Rodruiguez-Saona C, Wanumen AC, Salamanca J, Holdcraft R, Kyryczenko-Roth V (2016) Toxicity of insecticides on various life stages of two tortricid pests of Cranberries and on a non-target predator. *Insects*, 7: 1-20.
- Schutze IX, Baronio KA, Baldin MM, Loek AE, Botton M (2018) Toxicity and residual effects of toxic baits with spinosyns on the South American fruit fly. *Pesq. Agropec. Bras.* 53: 144-151.

- Vargas RI, Miller NW, Prokopy RJ (2002) Attraction and feeding responses of mediterranean fruit fly and a natural enemies on protein baits laced with two novel toxins, phloxine B and spinosad. *Entomol. Exp. Appl.* 102: 273-282.
- Varikou K, Garanthonakis N, Marketali M, Charalampous A, Anagnostopoulos C, Bempelou E (2017) Residual degradation and toxicity of insecticides against *Bractocera oleae*. *Environ. Sci. Pollut Res.* 25: 479-489.
- Wang L, He L, Zhu X, Zhang J, Li N, Fan J, Sun X, Zhang L, Lin Y, Wu K (2023) Large-area field application confirms the effectiveness of toxicant-infused bait for managing *Helicoverpa armigera* (Hübner) in maize fields. *Pest Manag. Sci.* 79: 5405-5417.
- White WH, McCoy, CM, Meyer, JA, Winkle JR, Plummer PR, Kemper CJ, Starkey R, Snyder DE (2007) Knockdown and mortality comparisons among Spinosad-, Imidacloprid-, and Methomyl – containing baits against susceptible *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) under laboratory conditions. *J. Econ. Entomol.* 100: 155-163.
- Yee WL, Alston DG (2016) Sucrose mixed with spinosad enhances kill and reduces oviposition of *Rhagoletis indifferens* (Diptera: Tephritidae) under low food availability. *J. Entomol. Sci.* 51:101-112.
- Zarbin PH G., Rodrigues MACM (2009) Feromônios de insetos: tecnologia e desafios para uma agricultura competitiva no Brasil. *Quim. Nova*, 32: 722-731.
- Zhang Q, Liang H, Lu Y (2020) Control efficacy of food attractant combined with low dose chlorantraniliprole on *Helicoverpa armigera* population. *Chin. J. Biol. Cont.* 5: 656-662.

Tabela 1. Inseticidas candidatos para compor a formulação de isca tóxica em combinação com o atrativo alimentar Noctovi[®] 43SB.

Ingrediente ativo (i.a.)	Nome comercial	Concentração [Formulação] ^a	Dose ^b		Grupo químico
			i.a.	p.c.	
<i>Allium sativum</i> ^{viii}	Vigga [®]	800 [SC]	320	400	Extrato vegetal
Benzoato de emamectina ^{ix}	Proclaim [®] 50	50 [WG]	10	200	Avermectina [6]
Clorantraniliprole ^{vi*}	Premio [®]	200 [SC]	13,3	66,6	Diamidas antranílicas[28]
Clorfenapir ^{ii*}	Pirate [®]	240 [SC]	125	500	Análogo de Pirazol [15]
Clorpirifós ^{vii}	Clorpirifós Nortox EC	480 [EC]	192	400	Organofosforado [1B]
Espinetoram ^{iv*}	Delegate [®]	250 [WG]	3.0	12	Espinosinas [5]
Espinosade ^{iv*}	Tracer [®]	480 [SC]	24	50	Espinosinas [5]
Fipronil ^{vii}	Fipronil Nortox	250 [SC]	50	200	Pirazol [2B]
Indoxacarbe ^{vi*}	Avatar [®]	150 [EC]	24	160	Oxadiazina [22A]
Lambda-cialotrina ^{ix}	Karate Zeon 50 SC	50 [EC]	5	100	Piretroide [15]
Malathiona ^{vi*}	Malathion 1000 EC	1000 [EC]	1000	1000	Organofosforado [1B]
Metomil ^{v*}	Lannate [®] BR	215 [SL]	43	200	Carbamato [1A]
Metoxifenoazida ^{iv*}	Intrepid [®] 240 SC	240 [SC]	21,6	90	Diacilhidrazina [18]
Novaluron ⁱ	Rimom Supra 100 SC	100 [SC]	15	150	Benzoilureia [15]
Profenofós + Cipermetrina ^{ix}	Polytrim [®]	400 + 40 [EC]	44	100	Organofosforado [1B] + Piretroide [3A]
Tiodicarbe ^{iii*}	Larvin WG	800 [WG]	40	50	Carbamato [1A]
Zeta-cipermetrina ^{vi*}	Mustang [®] 350 EC	350 [EC]	14	40	Piretroide [3A]

ⁱ ADAMA Brasil S/A, Londrina, PR, Brasil; ⁱⁱ Basf S/A, São Paulo, SP, Brasil; ⁱⁱⁱ Bayer CropScience Ltda, São Paulo, SP, Brasil; ^{iv} Dow AgroSciences Industria Ltda, São Paulo, SP, Brasil; ^v DuPont do Brasil, Barueri, SP, Brasil; ^{vi} FMC Química do Brasil Ltda, Campinas, SP, Brasil; ^{vii} Nortox S/A, Arapongas, PR, Brasil; ^{viii} Omex Agrifluids do Brasil Produtos; ^{ix} Syngenta Proteção de Cultivos Ltda, SP, Brasil; em g ^aConcentração em a.i./kg or L [EC= Concentrado emulsificado, SC= Suspensão concentrada, SL = Concentrado solúvel, WG= grânulos dispersíveis]; ^b doses registradas para o controle de ^{i, ii, v, vii, ix}*Spodoptera frugiperda* (Milho), ⁱⁱⁱ*Meloidogyne incognita* (Soja), ^{iv}*Spodoptera eridania* (Milho), ^{vi}*Anticarsia gemmatilis* (Soja), ^{vii}*Elasmopalpus lignosellus* (Milho) (Brasil 2018) em g a.i. e g ou mL do produto comercial (p.c.)/100 L de água.

* Inseticidas usados nos bioensaios de Toxicidade e Efeito residual

Tabela 2. Concentração letal (CL₅₀ e CL₉₀, em mg. L⁻¹) de formulações de isca tóxica sobre adultos de *Spodoptera frugiperda* em laboratório.

Inseticida	Slope ± SE	CL ₅₀ (IC 95%) ^a	CL ₉₀ (IC 95%) ^a	χ ^{2b}	GL ^c
Metomil	2.82 ± 0.14	322,0 (215 - 473) a	1160,0 (1370,0 – 1740,0) a	8.04	6
Espinetoram	2.91 ± 0.11	816 (675,0 – 1002,0) b	3648,0 (3570,0 – 4100,0) c	9.02	6
Espinosade	3.04 ± 0.24	5280,0 (6620,0 – 7240,0) c	7296,0 (6760,0 – 8010,0) c	8.18	6
Malationa	3.35 ± 0.26	2000,0 (1400,0 – 1240,0) a	9000,0 (7500,0 – 9600,0) a	9.85	6
Tiodicarbe	3.56 ± 0.38	7760,0 (6240,0 – 9280,0) c	16800,0 (16240,0 - 18800) d	9.78	6
Indoxicarbe	2.91 ± 0.35	810,0 (600,0 – 1300,0) b	2610,0 (2550,0 – 2830,0) b	7,83	6
Clorantraniliprole	3.04 ± 0.44	920,0 (800,0 – 102,0) b	3740,0 (3500,0 – 4200,0) b	7,07	6
Clofenapir	2,90 ± 0.43	2320,0 (2010,0 – 2640,0) c	4530,0 (3740,0 – 5040,0) b	8,11	6
Zeta-cipermetrina	3,11 ± 0.32	3040,0 (2620,0 – 3470,0) c	7520,0 (7170,0 – 7660,0) d	9,05	6
Metoxifenoziata	2,98 ± 0.11	1032,0 (720,0 – 1296,0) b	7464,0 (6624,0 – 7704,0) e	8,14	6

^a CL₅₀ e CL₉₀: Concentração (mg L⁻¹) requerida para matar 50 e 90% de adultos de *S.*

frugiperda,

IC: Intervalo de confiança de 95%;

^b χ²: Valor de Chi-quadrado de Pearson;

^c GL: Grau de liberdade.

Tabela 3. Mortalidade (%) média de adultos de *Spodoptera frugiperda* 120h após a exposição para iscas tóxicas em folhas de algodão e envelhecida em casa de vegetação por 3, 7, 15, 21 e 30 dias após a aplicação.

Tratamentos	3 DAA		7 DAA		15 DAA		21 DAA		30 DAA		<i>P</i> valores
	N±SE ¹	M% ²	N±SE ¹	M%	N±SE ¹	M%	N±SE ¹	M%	N±SE ¹	M%	
Metomil	0,0 ± 0,00 Ba	100,00	0,0 ± 0,0 Ba	100,0	0,0 ± 0,0 Ca	100,0	0,6 ± 0,1 Ca	95,0	2,2 ± 0,2 Bb	81,7	F= 4,11; GL.=4, 16; P<0,0001
Espinosade	0,0 ± 0,0 Ba	100,00	0,0 ± 0,0 Ba	100,0	0,6 ± 0,1 Ca	95,0	0,2 ± 0,1 Ca	98,0	3,6 ± 0,5 Ab	70,0	F= 6,77; GL.=4, 16; P<0,0001
Zeta-cipermetrina	2,4 ± 0,3 Aa	80,0	2,6 ± 0,4 Aa	78,3	2,0 ± 0,2 Ba	83,3	1,8 ± 0,4 Ba	85,0	3,2 ± 0,6 Aa	73,3	F= 6,90; GL.=4, 16; P<0,0001
Clofenapir	0,6 ± 0,1 Ba	95,0	0,6 ± 0,2 Ba	95,0	0,6 ± 0,1 Ca	95,0	1,4 ± 0,3 Bb	88,3	0,4 ± 0,1 Ca	96,7	F= 5,16; GL.=4, 16; P<0,0001
Benzoato de emamectina	0,4 ± 0,1 Ba	96,7	0,4 ± 0,1 Ba	96,0	0,0 ± 0,0 Ca	100,0	0,2 ± 0,1 Ca	98,3	0,0 ± 0,0 Ca	100,0	F= 8,76; GL.=4, 16; P<0,0001
Metoxifenoazida	0,2 ± 0,1 Ba	98,3	0,0 ± 0,0 Ba	100,0	0,2 ± 0,1 Ca	98,0	0,4 ± 0,1 Ca	96,0	0,6 ± 0,1 Ca	94,0	F= 5,11; GL.=4, 16; P<0,0001
Espinetoram	0,2 ± 0,1 Ba	98,3	0,2 ± 0,0 Ba	98,0	0,4 ± 0,1 Ca	96,0	0,4 ± 0,1 Ca	96,0	2,0 ± 0,3 Bb	83,3	F= 7,89; GL.=4, 16; P<0,0001
Indoxacarbe	0,6 ± 0,1 Ba	94,0	0,4 ± 0,1 Ba	96,0	0,2 ± 0,1 Ca	98,0	0,2 ± 0,1 Ca	98,0	0,2 ± 0,1 Ca	98,0	F= 10,33; GL.=4, 16; P<0,0001
Clorantraniliprole	0,4 ± 0,1 Ba	96,0	0,4 ± 0,1 Ba	96,0	0,6 ± 0,2 Ca	94,0	0,8 ± 0,2 Ca	92,0	0,8 ± 0,2 Ca	92,0	F= 9,21; GL.=4, 16; P<0,0001
Tiodicarbe	0,0 ± 0,0 Ba	100,0	0,4 ± 0,2 Ba	96,0	0,2 ± 0,1 Ca	98,0	0,2 ± 0,1 Ca	98,0	0,2 ± 0,1 Ca	98,0	F= 7,13; GL.=4, 16; P<0,0001
Lambda-cialotrina	0,6 ± 0,2 Ba	94,0	0,6 ± 0,1 Ba	94,0	1,4 ± 0,5 Cb	86,0	1,4 ± 0,5 Bb	86,0	0,8 ± 0,2 Ca	92,0	F= 8,25; GL.=4, 16; P<0,0001
Malathion	0,2 ± 0,1 Ba	98,0	2,8 ± 0,6 Ab	78,0	6,6 ± 1,1 Ac	44,0	6,4 ± 1,0 Ac	46,0	4,6 ± 0,8 Ac	54,0	F= 9,10; GL.=4, 16; P<0,0001
<i>F</i>	12,45		17,11		10,45		18,10		9,04		
<i>GL</i>	11, 55		11, 55		11, 55		11, 55		11, 55		

¹ Média seguida de letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

² Mortalidade corrigida pela fórmula da equação de Henderson e Tilton (1955).

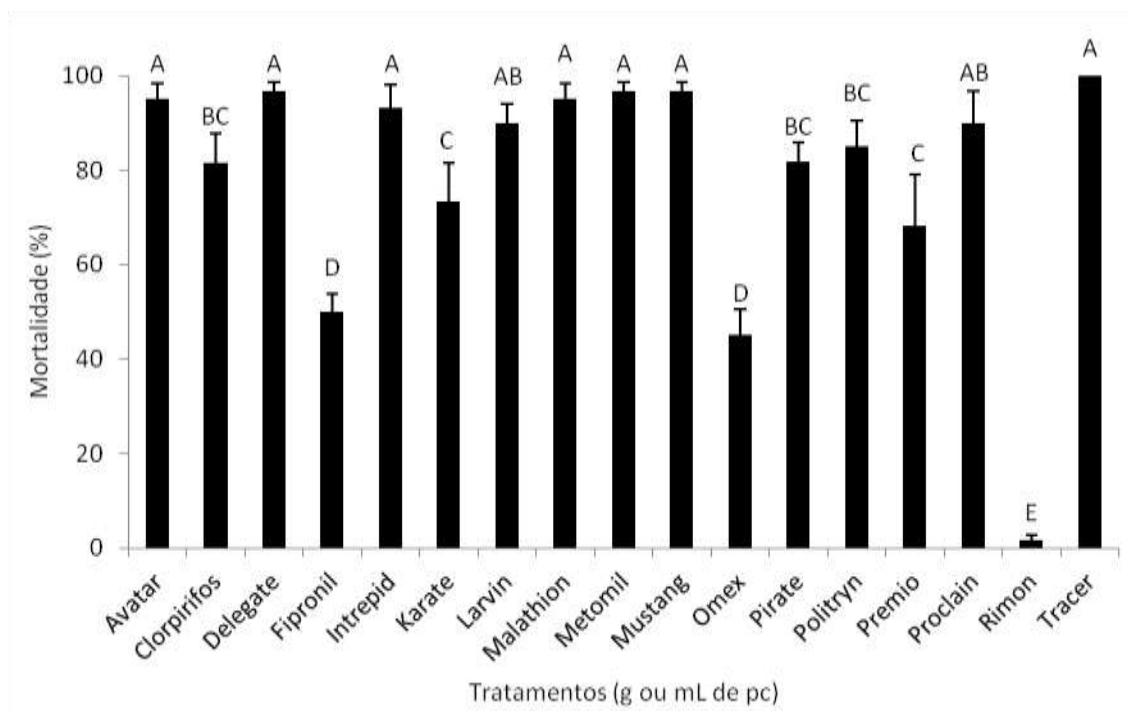


Figura 1. Mortalidade corrigida (%) média de adultos de *S. frugiperda* expostos às formulações de isca tóxica com o atrativo alimentar Noctovi® 43SB em laboratório.

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estaticamente entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura enfrenta muitos desafios, incluindo mudanças climáticas, perda de biodiversidade e demanda cada vez maior por alimentos mais saudáveis e seguros. Todavia, nas regiões neotropicais, com condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de insetos, são frequentes os problemas relacionados com uso de pesticidas agrícolas. Estes problemas devem-se a utilização inadequada que contribui para falhas de controle e evolução de populações de pragas resistentes, e consequentemente, o uso exacerbado dos pesticidas agrícolas.

Como resposta a esses desafios, observa-se um aumento considerável em pesquisa e desenvolvimento para viabilizar a produção agrícola sustentável, que estejam em harmonia com os ecossistemas. Atualmente, o manejo de *S. frugiperda* tem tornado-se um dos grandes desafios enfrentados pela agricultura brasileira, inseto-praga é considerado de extrema importância para os cultivos de milho, soja e algodão. Esse fato está primordialmente vinculado à crescente evolução da resistência da praga para as estratégias de manejo químico e genético (plantas *Bts*).

Frente a este cenário, o presente trabalho demonstrou que metodologias específicas devem ser adotadas para estudar com mais acurácia a eficiência de iscas tóxicas no manejo de de lepidóptero adulto, em especial, a *S. frugiperda*. Cabe destacar, que fatores endógenos e exógenos ao inseto adulto se não bem avaliados podem comprometer futuras formulações de compostos atrativos. Outrora, os agentes misturados com o atrativo alimentar pode comprometer a atratividade da isca tóxica por fatores associados as suas características físico-químicas ou a ingredientes inertes presentes na sua composição como foi observado para o inseticida Clorpirifós.

O uso de isca tóxica como estratégia atraindo e mata demonstrou-se efetivo no manejo de adultos de *S. frugiperda*. O inseticida Metomil considerado referência para misturas com o atrativo alimentar se demonstrou eficiente, todavia, inseticidas menos tóxicos como Espinosade, Indoxacarbe, Espinetoram, Metoxifenoazida e Clorantraniliprole demonstraram ser boas alternativas viáveis. O adjuvante Noctovi[®] 43 SB demonstrou ser atrativo por um período de até 30 DAA sendo obtidas taxas de mortalidade >70% para 11 inseticidas testados. Dentro deste contexto, o uso de isca tóxica pode desempenhar um papel importante no manejo de *S. frugiperda*, tornando-se uma alternativa mais sustentável e ecologicamente correta.

3 REFERÊNCIAS

- ABBAS, A.; ULLAH, F.; HAFEEZ, M.; HAN, X.; DARA, M. Z. N.; GUL, H.; ZHAO, C. R. Biological control of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Agronomy**, v. 12, p. 1-16, 2022.
- AGELOPOULOS, N.; BIRKETT, M. A.; HICK, A. J.; HOOPER, A.; PICKETT, J. A.; POW, E. M.; SMART, L. E.; SMILEY, D. W. M.; WADHAMS, L. J.; WOODCOCK, C. M. Exploiting semiochemicals in insect control. **Pesticide Science**, v. 55, p. 225-235, 1999.
- ALLISON, J. D.; CARDÉ, R.T. Pheromones communication in moth: evolution, behavior and application. California, University of California Press, 411 p, 2016.
- BALOCH, M. N.; FAN, J.; HASEEB, M.; ZHANG, R. Mapping potential distribution of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Central Asia. **Insects**, v. 11, n. 3, p. 1-10, 2020.
- BARONIO, C. A.; MACHOTA, J. R. R.; NUNES, M. Z.; PARANHOS, B. A. J.; BERNARDI, D.; GARCIA, F. R. M.; BOTTON, M. The use of toxic baits for the suppression of mediterranean fruit fly in mango orchads. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 95, p. 1-8, 2023.
- BARROS, E.M.; TORRES, J.B.; BUENO, A.F. Oviposition, development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (J, E, Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) fed on different hosts of economic importance. **Neotropical Entomology**, v. 39, p. 996-1001, 2010.
- BENTIVENHA, J. P. F.; RODRIGUES, J. G.; LIMA, M. F.; MARÇON, P.; POPHAM, H. J. R.; OMOTO, C. Baseline susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to SfMNPV and evaluation of cross-resistance to major insecticides and Bt proteins. **Journal of Economic Entomology**, v. 112, p. 91-98, 2019.
- BERNARDI, O.; BERNARDI, D.; AMADO, D.; SOUSA, R.S.; FATORETTO, J.; MEDEIROS, F.C. L.; CONVILLE, J.; BURD, T.; OMOTO, C. Resistance risk of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) to Vip3Aa20 insecticidal protein expressed in corn. **Journal of Economic of Entomology**, v. 108, p. 2711-2719, 2015.

BOAVENTURA, D.; ULRICH, J.; LUEKE, B.; BOLZAN, A.; OKUMA, D.; GUTBROD, O.; GEIBEL, S.; ZENG, Q.; DOURADO, P. M.; MARTINELLI, S.; FLAGEL, L.; HEAD, G.; NAUEN, R. Molecular characterization of Cry1F resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* from Brazil. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 116, p.1-11, 2020.

BOLZAN, A.; PADOVEZ, F.E.O.; NASCIMENTO, A.R.B.; KAISER, I.S.; LIRA, E.C.; AMARAL, F.S.A.; KANNO, H.K.; MALAQUIAS, J.B.; OMOTO, C. Selection and characterization of the inheritance of resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to chlorantraniliprole and cross-resistance to other diamide insecticides. **Pest Management Science**, v. 10, p. 53-76, 2019.

BORGES, R.; MACHOTA JUNIOR, R.; BOFF, M. I. C.; BOTTON, M. Efeito de iscas tóxicas sobre *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). **Bioassay**, v. 10, p. 1-8, 2015.

BUENO, R. C. O. F.; BUENO, A. F.; MOSCARDI, F.; PARRA, J. R. P.; HOFFMANN-CAMPO, C. B. Lepidopteran larvae consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science**, v. 67, p. 170-174, 2011.

CARVALHO, R. A.; OMOTO, C.; FIELD, L. M.; WILLIAMSON, M. S.; BAS, C. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Plos One**, v. 8, p. 0062268, 2013.

CHARMILOT, P. J.; HOFER, D.; PASQUIER, D. Attract and kill: a new method for control of the codling moth, *Cydia pomonella* (L.). **Entomology Experimentalis et Applicata**, v. 94, p. 211-216, 2000.

COSTA, F. L. C. P.; CABRAL, C. Desempenho in vitro do atrativo alimentar para lepidópteros-praga no índice de parasitismo de *Trichogramma pretiosum* em ovos de *Helicoverpa armigera* no tomateiro. **Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa**, v. 1, p. 1-15, 2023.

COTTON RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION. **Cotton pest management Guide**. Herreies ST, Greenmount Press, 156 p, 2023.

CRUZ-ESTEBAN, S. Antennal sensitivity to female sex pheromone compounds of *Spodoptera frugiperda* males (Lepidoptera: Noctuidae) and associated field behaviour. **Physiological Entomology**, v. 45, p. 1-3, 2020.

EARLY, R.; GONZÁLEZ-MORENO, P.; MURPHY, S. T.; DAY, R. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm. **NeoBiota**, v. 40, p. 25-50, 2018.

FARIAS, J. R.; ANDOW, D. A.; HORIKOSHI, R. J.; SORGATTO, R. J.; FRESIA, P.; DOS SANTOS, A. C.; OMOTO, C. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop Protection**, v. 64, p. 150-158, 2014.

FERREIRA FILHO, J. B. S.; ALVES, L. R. A.; GOTTARDO, L. C. B.; GEORGINO, M. Dimensionamento do custo econômico representado por *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho no Brasil. In. **CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL**, 48, Campo Grande, MS. Anais... Brasília: SOBER, 48 p. 2010.

FIGUEIREDO, M. L. C.; CRUZ, I.; SILVA, R. B.; FOSTER, J. E. Biological control with *Trichogramma pretiosum* increases organic maize productivity by 19.4%. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 1175-1183, 2015.

FOSTER, S. P.; HARRIS, M. O. Behavioral manipulation methods for insects pest-management. **Annual Review Entomology**, v. 42, p. 123-146, 1997.

GOERGEN, G.; KUMAR, P. L.; SANKUNG, S. B.; TOGOLA, A.; TAMÒ, M. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. **Plos One**, v. 11, p. 1-9, 2016.

GREGG, P. C.; DEL SOCORRO, A. P.; LANDOLT, P. J. Advances in attract – and – kill for agricultural pests: beyond pheromones. **Annual Review of Entomology**, v. 63, p. 453-470, 2018.

GREGG, P.C.; DEL SOCORRO, A. P.; HAWES, A.J.; BINNS, M.R. Developing bisexual attract-and-kill for polyphagous insects: Ecological Rationale versus pragmatics. **Journal of Chemical Ecology**, v. 42, p. 666-675, 2016.

GUERRERO, A.; MALO, E. A.; COLL, J.; QUERO, C. Semiochemical and natural product-based approaches to control *Spodoptera* spp. (Lepidoptera: Noctuidae).

Journal of Pest Science, v. 87, p. 231-247, 2014.

GUTIERREZ-MORENO, R.; MOTA-SANCHEZ, D.; BLANCO, C. A.;

CHANDRASENA, D.; DIFONZO, C.; CONNER, J.; HEAD, G.; BERMAN, K.; WISE, J.

Susceptibility of fall armyworms (*Spodoptera frugiperda* J. E.) from Mexico and Puerto Rico to Bt proteins. **Insects**, v. 11, p. 1-14, 2020.

JUSTIANO, W.; FERNANDES, M. G.; RAIZER, J. Toxic bait as an alternative tool in the management of *Spodoptera frugiperda* in second corn crops. **Journal of**

Agricultural Science, v.13, p. 102 -112, 2021.

KANNAN, K.; GALIZIA, C. G.; NOUVIAN, M. Olfactory strategies in the defensive behavior of insects. **Insects**, v. 13, p. 1-20, 2022.

KANNO, R. H.; BOLZAN, A.; KAISER, I. S.; LIRA, E. C.; AMARAL, F. S. A.;

GUIDOLIN, A. S.; NASCIMENTO, A. R. B.; OMOTO, C. Low risk of resistance

evolution of *Spodoptera frugiperda* to chlorfenapyr in Brazil. **Journal of Pest Science**, v. 93, 1, p. 365-378, 2020.

KENIS, M.; DU PLESSIS, H.; VAN DEN BERG, J.; BA, M. N.; GOERGEN, G.;

KWADJO, K. E.; BAOUA, I.; TEFERA, T.; BUDDIE, A.; CAFÁ, G.; OFFORD, L.;

RWOMUSHANA, I.; POLASZEK, A. *Telenomus remus*, a candidate parasitoid for the Biological Control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already present on the continent. **Insects**, 10: 1-10, 2019.

MBALUTO, C. M.; AYELO, P. M.; DUFFY, A. G.; ERDEI, A. L.; TALLON, A. K.; XIA,

S.; CBALLERO-VIDAL, G.; SPITALER, U.; SZELÉNYI, M. O.; DUARTE, G. A.;

WILKER III, W. B.; BECHER, P. G. Insect chemical ecology: chemically mediated interactions and novel applications in agriculture. **Arthropod Plant Interaction**, v. 14, p. 671-684, 2020.

MENSAH, R. K.; GREGG, P. C.; DEL SOCORRO, A. P.; MOORE, C. J.; HAWES, A.

J.; WATTS, N. Integrated pest management in cotton: exploiting behaviour-modifying (semiochemical) compounds for managing cotton pests. **Crop and Pasture Science**, 64: 763-773, 2013.

MONTEZANO, D. G.; SPECHT, A.; SAOSA-GÓMEZ, D. R.; ROQUE-SPECHT, V. F.; SOUSA-SILVA, J. C.; PAULA-MORAES, S. V.; PETERSON, J. A.; HUNT, T. E. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. **African Entomology**, v. 26, p. 286-300, 2018.

MOSCARDI, F. Assessment of the application of baculoviroses for control of lepidoptera. **Annual Review of Entomology**, v. 44, p. 257-289, 1999.

MURÚA, M. G.; NAGOSHI, R. N.; SANTOS, D. A.; HAY-ROE, M. M.; MEAGHER, R. L.; VILARDI, J. C. Demonstration using field collections that Argentina fall armyworm populations exhibit strain-specific host plant preferences. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, p. 2305-2315, 2015.

OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; SORGATTO, R. J.; DOURADO, P. M.; CRIVELLARI, A.; CARVALHO, R. A.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. **Pest Management Science**, v. 72, p. 1727-1736, 2016.

OVERTON, K.; MAINO, J. L.; DAY, R.; UMINA, P. A.; BETT, B.; CARNOVALE, D.; EKESI, S.; MEAGHER, R.; REYNOLDS, O. L. Global crops impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. **Crop Protection**, v. 145: e-105641, 2021.

PAREDES-SÁNCHEZ, F. A.; RIVERA, G.; BOCANEGRA-GARCÍA, V.; MARTÍNEZ-PADRÓN, H. Y.; BERRONES-MORALES, M.; NIÑO-GARCÍA, N.; HERRERA-MAYORGA, V. Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*. A review. **Molecules**, v. 26: 1-19. 2021.

PITTS, R. J.; MOZÜRAITIS, R.; GAUVIN-BIALECKI, A.; LEMPÉRIÈRE, G. The roles of kairomones, synomones and pheromones in the chemically-mediated behaviour of male mosquitoes. **Acta Tropical**, v. 132, p. 26-34, 2014.

RIZVI, S. A. H.; GEORGE, J.; REDDY, G. V. P.; ZENG, X.; GUERRERO, A. Last developments in insects sex pheromone research and its application in agricultural pest management. **Insects**, v. 18, p. 1-26, 2021.

SALAZAR-MENDONZA, P.; RODRIGUEZ-SAONA, C.; FERNANDES, O. A. Release density, dispersal capacity, and optimal rearing conditions for *Telenomus remus*, na

egg parasitoid of *Spodoptera frugiperda*, in maize. **Biocontrol Science and Technology**, v. 30, p. 1040-1059, 2020.

SCHRÖDER, R., HILKER, M. The relevance of background odor in resource location by insects: a behavioral approach. **BioScience**, v. 58, p. 308-316, 2008.

SZEWCZYK, B.; HOYOS-CARVAJAL, L.; PALUSZEK, M.; SKRZECZ, I.; LOBO DE SOUZA, M. Baculoviruses – re-emerging biopesticides. **Biotechnology Advances**, v. 24, p. 143-160, 2006.

VALICENTE, F. H. **Manejo integrado de pragas na cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagos Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 208 p, 2015.

WAIT, G. R.; DAVEY, K. G. Cellular and molecular actions of juvenile hormone. II. Roles of juvenile hormone in adult insects. **Advances in Insect Physiology**, v. 26, p. 1-155, 1996.

WANG, L.; HE, L.; ZHU, X.; ZHANG, J.; LI, N.; FAN, J.; SUN, X.; ZHANG, L.; LIN, Y.; WU, K. Large-area field application confirms the effectiveness of toxicant-infused bait for managing *Helicoverpa armigera* (Hübner) in maize fields. **Pest Management Science**, v. 79, p. 5405-5417, 2023.

WENGRAT, A. P. G. S.; COELHO JUNIOR, A.; PARRA, J. R. P.; TAKAHASHI, T. A.; FOERSTER, L. A.; CÔRREA, A. S.; POLASZEK, A.; JOHNSON, N. F.; COSTA, V. A.; ZUCCHI, R. A. Integrative taxonomy and phylogeography of *Telenomus remus* (Scelionidae), with the first Record of natural parasitism of *Spodoptera* spp. in Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, p. 1-9, 2021.