



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA**

**MARIANNE GONÇALVES BARBOSA**

**ESTRATÉGIAS NO MANEJO DE RESISTÊNCIA DE *Plutella xylostella***  
**(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) E DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA:**  
**NOCTUIDAE): ROTAÇÃO DE INSETICIDAS E CONTROLE BIOLÓGICO COM**  
**PARASITOIDE**

**FORTALEZA**

**2019**

MARIANNE GONÇALVES BARBOSA

ESTRATÉGIAS NO MANEJO DE RESISTÊNCIA DE *Plutella xylostella* (LEPIDOPTERA:  
PLUTELLIDAE) E DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE):  
ROTAÇÃO DE INSETICIDAS E CONTROLE BIOLÓGICO COM PARASITOIDE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia) da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de *Doctor Scientiae* em Agronomia (Fitotecnia).  
Área de concentração: Entomologia Agrícola.

Orientador: Prof. Patrik Luiz Pastori, *D. Sc.*  
Coorientador: Prof. Michael J. Furlong, *D. Sc.*

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

B199e Barbosa, Marianne Gonçalves.

Estratégias no manejo de resistência de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) e de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): Rotação de inseticidas e controle biológico com parasitoide / Marianne Gonçalves Barbosa. – 2019.

108 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Patrik Luiz Pastori.

Coorientação: Prof. Dr. Michael J. Furlong.

1. Lagarta-do-cartucho. 2. Traça-das-crucíferas. 3. Controle químico. 4. Suscetibilidade. 5. *Trichogramma pretiosum*. I. Título.

CDD 630

---

MARIANNE GONÇALVES BARBOSA

ESTRATÉGIAS NO MANEJO DE RESISTÊNCIA DE *Plutella xylostella* (LEPIDOPTERA:  
PLUTELLIDAE) E DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE):  
ROTAÇÃO DE INSETICIDAS E CONTROLE BIOLÓGICO COM PARASITOIDE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia) da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de *Doctor Scientiae* em Agronomia (Fitotecnia).  
Área de concentração: Entomologia Agrícola.

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Patrik Luiz Pastori, *D. Sc.* (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Pesq<sup>a</sup>. Cristiane Müller, *D. Sc.*  
Corteva Agriscience

---

Prof. João Gutemberg Leite Moraes, *D. Sc.*  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Prof. Marcos Aurélio Araújo Lima, *D. Sc.*  
Faculdade Ieducare

---

Prof. Márcio Alves Silva, *D. Sc.*  
Universidade Estadual do Piauí (UEPI)

A Deus onipotente;

À minha família, em especial a minha querida mãe, Creuniz, a qual tenho como exemplo pela busca contínua do conhecimento e amor aos estudos, sempre renovando minhas esperanças, capacitando e impulsionando a realização de todos os meus projetos de vida.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha vida, serenidade, por estar sempre presente ao meu lado me guiando e por esta conquista.

À Universidade Federal do Ceará - UFC e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia pela possibilidade de realização deste projeto.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida durante o curso de doutorado e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro por meio da concessão da bolsa de estudo para o Programa de Doutorado-Sanduíche no Exterior (PDSE) na Universidade de Queensland (UQ), Brisbane, Austrália.

À Universidade de Queensland pela oportunidade de execução de parte da pesquisa.

Ao prof. Patrik Luiz Pastori, por toda orientação, oportunidade, ensinamentos, amizade, apoio e principalmente por acreditar neste projeto desafiador e na minha capacidade de executá-lo.

Ao prof. Michael Furlong, por toda contribuição no desenvolvimento de parte deste trabalho, pela excelente recepção e paciência na comunicação por meio de “gestos”. Sou grata pela coorientação e por todo conhecimento adquirido durante o período de intercâmbio na Austrália.

Aos professores e pesquisadores participantes da banca examinadora, Pesq<sup>a</sup> Cristiane Müller, Prof. Marcos Aurélio Araújo Lima, Prof. João Gutemberg Leite Moraes e Prof. Márcio Alves Silva, pelas colaborações e sugestões do trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia-UFC, pelo conhecimento transmitido e, aos funcionários do Bloco 806 (UFC), em especial a Lidiane pelo carinho e cafés.

À minha família, pelo apoio, incentivo, paciência e credibilidade neste sonho tão esperado. Amo vocês incondicionalmente, serei sempre grata. Em especial à minha querida mãe, Creuniz que, mesmo diante da minha ausência (quase 17 anos), sempre esteve ao meu lado, sonhando com minha realização profissional.

À Hercules Gustavo, por toda ajuda no desenvolvimento dos experimentos (com o qual sempre pude contar), pelo carinho, companheirismo, momentos de alegrias e estudos vividos nestes anos e, principalmente, pelo incentivo. Mais que um marido, um amigo e um parceiro de todas as horas.

Aos meus sogros queridos, Zinha e Marcos, que acreditam mais em mim do que eu mesma, sempre incentivando e reconhecendo meu esforço e dedicação. Vocês são especiais para mim.

Aos ex-colegas e atuais do Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA), por todos os momentos vividos juntos, alegrias, pesquisas e estudos.

À minha “equipe especial” do LEA: Thais e Débora, que iniciaram e executaram com tanta dedicação e empenho grande parte dos experimentos e a Suyanne e Camila que ajudaram na execução e finalização das atividades. Serei sempre grata a vocês e estarei sempre à disposição, acreditem!

Ao amigo Kássio, pelas caminhadas de retorno para casa, sempre ouvindo meus anseios e preocupações com paciência.

À Nádylla, por toda a ajuda no “início de todo esse projeto” e por tornarem alguns dias mais alegres e menos estressantes.

Aos amigos da Universidade de Queensland, Leyun Wang, Rafey Munia e em especial Mahbubur Bipu, pela paciência, ensinamento e todos os momentos de risadas.

Aos brasileiros que conheci na Austrália (Pâmela, Fernanda e Layla), em especial a Verônica. Posso dizer que foram dias inesquecíveis ao lado de vocês.

Enfim, agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho, pelo carinho e incentivo. “A gratidão é uma virtude das almas nobres - Esopo”!

Muito obrigada!

Há um tempo em que é preciso abandonar as roupas usadas, que já tem a forma do nosso corpo, e esquecer os nossos caminhos, que nos levam sempre aos mesmos lugares. É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado, para sempre, à margem de nós mesmos.

Fernando Teixeira de Andrade



## RESUMO

A utilização dos produtos químicos tem apresentado falhas e casos de resistência para o controle de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) e de *Spodoptera frugiperda* (J. M. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Objetivou-se avaliar a suscetibilidade de populações de *P. xylostella* da Serra da Ibiapaba-CE; a rotação de inseticidas no manejo de *P. xylostella* resistente a deltametrina e de *S. frugiperda* resistente a metaflumizona; a possibilidade de resistência cruzada entre os inseticidas utilizados; o custo adaptativo associado à resistência e; o desempenho de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) no controle de *S. frugiperda* resistente a metaflumizona. Nos ensaios com *P. xylostella* foram avaliadas quatro gerações, sendo: aplicação sucessiva de deltametrina (D-Delta); aplicação sucessiva de clorantraniliprole (D-CL); aplicação sucessiva de metaflumizona (D-MET); aplicação sucessiva de *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) (D-*Bt*); alternância de inseticidas; e mantidas na ausência de inseticidas (D-Controle). Nos ensaios com *S. frugiperda* foram avaliadas cinco gerações, sendo: aplicação sucessiva de metaflumizona (M-MET); aplicação sucessiva de espinetoram (M-ESP); alternância dos inseticidas (M-Rotação) e mantidas na ausência dos inseticidas (M-Controle). Com as populações oriundas de cada ensaio, em geral, foram avaliados parâmetros biológicos (viabilidade e duração das fases, peso de pupas; razão sexual; longevidade dos adultos, fertilidade diária e total e os parâmetros da tabela de vida de fertilidade. Para os ensaios com *T. pretiosum*, cartelas contendo ovos de duas populações de *S. frugiperda*, uma resistente à metaflumizona e a outra sem exposição ao produto, foram expostas à fêmeas do parasitoide. Avaliou-se o parasitismo (%); a emergência (%); a razão sexual; o número de parasitoides emergidos por ovo e a longevidade dos adultos parasitoides. Quanto a suscetibilidade, todas as populações testadas apresentaram resistência média a deltametrina. As populações não apresentaram resistência a clorantraniliprole, *Bt* e metaflumizona. Constatou-se aumento da frequência de resistência quando as populações de *S. frugiperda* e de *P. xylostella* foram expostas sucessivamente à apenas um inseticida. As aplicações alternadas reduziram significativamente a frequência de resistência ao longo das gerações dos artrópodes-praga. Não se detectou resistência cruzada entre os inseticidas deltametrina, indoxacarb e *Bt*. Populações de *P. xylostella* oriundas dos tratamentos com exposição sucessiva aos inseticidas reduziram o peso das pupas, a longevidade dos adultos, a taxa líquida de reprodução e a aptidão relativa. Similarmente, observou-se aumento no período de incubação dos ovos, maior percentual de deformação de pupas, maior período

larval e pupal, redução no percentual de emergência e na longevidade de adultos, nos parâmetros populacionais e na aptidão relativa de *S. frugiperda*. Para *T. pretiosum*, constatou-se redução no parasitismo, na emergência, no número de parasitoides/ovo, na longevidade de fêmeas em ovos de *S. frugiperda* provenientes da população com frequência de resistência. A aplicação de inseticidas de forma sucessiva deve ser evitada promovendo alternância de princípios ativos com diferentes modos de ação visando reduzir os riscos desenvolvimento de resistência uma vez que populações dos artrópodes-praga resistentes são de difícil controle e podem interferir também na atuação do inimigo natural.

**Palavras-chave:** Lagarta-do-cartucho. Traça-das-crucíferas. Controle químico. Suscetibilidade. *Trichogramma pretiosum*.

## ABSTRACT

The use of chemicals has presented flaws and cases of resistance for the control of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) and *Spodoptera frugiperda* (J.M. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). The objective of this study was to evaluate the susceptibility of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) populations in Serra da Ibiapaba-CE; the rotation of insecticides in the management of *P. xylostella* resistant to deltamethrin and *Spodoptera frugiperda* (J. M. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) resistant to metaflumizone; the possibility of cross-resistance between the insecticides used; the adaptive cost associated with the resistance; the performance of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on the control of metaflumizone resistant *S. frugiperda*. In the experiments with *P. xylostella* four generations were evaluated: successive application of deltamethrin (D-Delta); successive application of chlorantraniliprole (D-CL); successive application of metaflumizone (D-MET); successive application of *Bacillus thuringiensis* (Bt) (D-Bt); alternation of insecticides and maintained in the absence of insecticides (D-Control). In the trials with *S. frugiperda* five generations were evaluated, being: successive application of metaflumizone (M-MET); successive application of spinetoram (M-ESP); alternation of the insecticides (M-Rotation) and maintained in the absence of insecticides (M-Control). With populations from each assays, it was generally evaluated biological parameters (viability and duration of the phases, pupal weight, sexual reason; the longevity of the adults, the daily and total fertility and the parameters of the fertility life table were estimated. For the *T. pretiosum* assays, cartons containing eggs of two populations of *S. frugiperda*, one resistant to metaflumizone and the other without exposure to the product, were exposed to the parasitoid females. It was evaluated: The percentage of parasitism; the percentage of emergency; sexual reason; the number of parasitoids emerged per egg and the longevity of adult parasitoids. As for susceptibility, all populations tested showed average resistance to deltamethrin. The populations showed no resistance to chlorantraniliprole, *Bt* and metaflumizone. Resistance frequency was increased when the populations of *S. frugiperda* and *P. xylostella* were exposed successively to only one insecticide. Alternating applications have significantly reduced the frequency of resistance over generations of pest arthropods. No cross-resistance was detected between the insecticides deltamethrin, indoxacarb and *Bt*. Populations of *P. xylostella* from treatments with successive exposure to insecticides reduced pupae weight, adult longevity, net reproduction rate and relative fitness. Similarly, a negative effect on the biological characteristics of *S. frugiperda* was observed in relation to the increase in egg

incubation period, higher percentage of pupae deformation, larval and pupal period, reduction in the percentage of emergence and longevity of adults, in population parameters and relative fitness. For *T. pretiosum*, parasitism, emergence, number of parasitoids/egg, and longevity of *S. frugiperda* from the eggs resistance frequency population were observed. The application of insecticides in a successive way should be avoided and the alternation of active principles with different modes of action should be promoted in order to reduce the risks of resistance development, since populations of resistant pest arthropods are difficult to control and may also infer action of the natural enemy.

**Keywords:** Fall armyworm. Diamondback moth. Chemical control. Susceptibility. *Trichogramma pretiosum*.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Média ( $\pm$  erro padrão) de peso de pupas (mg) de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) oriundas de seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: Deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina ..... 37
- Figura 2 – Localização da Serra da Ibiapaba, Noroeste do Estado do Ceará, Brasil, onde as populações de *Plutela xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) foram coletadas ..... 48
- Figura 3 – Média ( $\pm$  erro padrão) do peso de pupas machos e fêmeas (mg) de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram e na ausência destes ..... 78

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Inseticidas e concentrações utilizadas no experimento ..... 25
- Tabela 2 – Mortalidade induzida em amostras de sub-populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) provenientes da população (SLV) (coletada em “Sigatoka Lower Valley em Fiji”) por meio de seleção no laboratório (gerações G2 - G5) com os inseticidas deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina ..... 32
- Tabela 3 – Concentração-mortalidade em populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: Deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina ..... 33
- Tabela 4 – Porcentagem média ( $\pm$  erro padrão) de viabilidade de ovos e sobrevivência larval de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: Deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina ..... 34
- Tabela 5 – Média ( $\pm$  erro padrão) de duração (dias) dos ovos, instares (L1-L4), e pupas de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: Deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina ..... 35
- Tabela 6 – Média ( $\pm$  erro padrão) de duração (dias) do ciclo total (ovo-pupa) de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: Deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina ..... 36
- Tabela 7 – Média ( $\pm$  erro padrão) de longevidade de fêmeas e de machos, razão sexual e número de ovos por fêmea de populações de *Plutella xylostella*

(L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: Deltametrina e <i>Bacillus thuringiensis</i> (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina .....	38
Tabela 8 – Parâmetros de tabela de vida de fertilidade (média ± erro padrão (IC95%)) - intervalo de tempo entre cada geração (T), taxa líquida de reprodução (Ro ), capacidade inata de aumentar em número (rm), razão finita de aumento ( $\lambda$ ) e o tempo necessário para a população duplicar em número de indivíduos (TD) - de populações de <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: Deltametrina e <i>Bacillus thuringiensis</i> (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina .....	39
Tabela 9 – Inseticidas e concentrações utilizadas no experimento .....	48
Tabela 10 – Suscetibilidade de populações de <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) coletadas na Serra da Ibiapaba, CE, Brasil, a inseticidas .....	54
Tabela 11 – Mortalidade induzida em amostras de sub-populações de <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) provenientes da população “UBAJ-2” (coletada em Ubajara, CE) por meio de seleção no laboratório (gerações G2 - G5) com os inseticidas deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e <i>Bacillus thuringiensis</i> (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente e em rotação .....	55
Tabela 12 – Concentração-mortalidade em populações de <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: Deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e <i>Bacillus thuringiensis</i> (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente e em rotação .....	56
Tabela 13 – Média (± erro padrão) de duração (dias) dos ovos, instares (L1-L4), fases de pré-pupa e pupa de populações de <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: Deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e <i>Bacillus thuringiensis</i> (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente e em	

rotação .....	58
Tabela 14 – Média ( $\pm$ erro padrão) de sobrevivência larval, duração (dias) do ciclo total (ovo-pupa) e peso de pupas de populações de <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: Deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e <i>Bacillus thuringiensis</i> (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente e em rotação .....	59
Tabela 15 – Média ( $\pm$ erro padrão) de sobrevivência larval, longevidade de fêmeas e de machos e razão sexual de <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: Deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e <i>Bacillus thuringiensis</i> (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente e em rotação .....	60
Tabela 16 – Mortalidade induzida em amostras de sub-populações de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) provenientes da população M (coletada no município de Quixeré-CE) por meio de seleção no laboratório (gerações G2 - G6) com metaflumizona e espinetoram aplicados sucessivamente ou em rotação .....	75
Tabela 17 – Resposta de concentração-mortalidade em populações de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram, na ausência desses inseticidas e em rotação.	
Tabela 18 – Porcentagem média de sobrevivência ( $\pm$ erro padrão) de populações de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas à espinetoram (CL60= 10 ppm) .....	76
Tabela 19 – Porcentagem média ( $\pm$ erro padrão) de sobrevivência larval, pré-pupa, deformação de pupas e emergência de adultos de populações de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram e na ausência destes .....	77
Tabela 20 – Média ( $\pm$ erro padrão) da duração (dias) dos ovos, instares, fases de pré-pupa e pupas e adultos de populações de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E.	



Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram e na ausência destes .....	77
Tabela 21 – Média ( $\pm$ erro padrão) de longevidade de fêmeas e machos, razão sexual e número de ovos por fêmea de populações de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram e na ausência destes .....	77
Tabela 22 – Parâmetros de tabela de vida de fertilidade (média $\pm$ erro padrão (IC95%)) - taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), taxa intrínseca de crescimento populacional ( $r_m$ ), razão finita de aumento ( $\lambda$ ), tempo de uma geração (T) e tempo necessário para a população duplicar em número de indivíduos (TD) - de populações de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram e na ausência destes .....	90
Tabela 23 – Parasitismo (%); emergência (%); razão sexual; número de adultos emergidos por ovo; longevidade (dias) de <i>Trichogramma pretiosum</i> Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) linhagem “guaraciaba” em ovos de duas populações de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao longo de seis gerações, em teste sem chance de escolha .....	90
Tabela 24 – Parasitismo (%) e emergência (%) de <i>Trichogramma pretiosum</i> Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) linhagem “guaraciaba” em ovos de duas populações de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em teste com chance de escolha na G7 .....	90

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	18
2	<b>MANEJO DE RESISTÊNCIA DE INSETICIDAS PARA O CONTROLE DE <i>Plutella xylostella</i> (LINNAEUS) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) RESISTENTE A DELTAMETRINA E CUSTO ADAPTATIVO ASSOCIADO.....</b>	21
3	<b>SUSCETIBILIDADE E MANEJO DE RESISTÊNCIA A INSETICIDAS EM POPULAÇÕES DE <i>Plutella xylostella</i> (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) COLETADAS NA SERRA DA IBIAPABA, CEARÁ, BRASIL.....</b>	44
4	<b>MANEJO DE RESISTÊNCIA A INSETICIDAS NO CONTROLE DE <i>Spodoptera frugiperda</i> (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E CUSTO ADAPTATIVO ASSOCIADO .....</b>	65
5	<b>POPULAÇÕES DE INSETOS-PRAGA RESISTENTES A INSETICIDAS AFETAM A AÇÃO DE INIMIGOS NATURAIS?.....</b>	84
6	<b>CONCLUSÕES FINAIS.....</b>	94
7	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	95
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	96

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A lagarta-do-cartucho-do-milho ou lagarta-militar, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e a traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae) são espécies consideradas polífagas e oligófagas, respectivamente, atacando diversas culturas de importância econômica (ULMER *et al.*, 2002; CRUZ e MONTEIRO, 2004).

Para o controle desses artrópodes-praga são adotadas diversas estratégias como: cultivares resistentes, feromônios, inimigos naturais, rotação de culturas, inseticidas químicos e biológicos a base *Bacillus thuringiensis* Berliner (Eubacteriales: Bacillaceae), culturas armadilhas, extratos vegetais e práticas culturais (PEREIRA *et al.*, 2004; SAITO, 2004; MEDEIROS *et al.*, 2005; MARTINAZZO *et al.*, 2007). No entanto, os inseticidas, especialmente os químicos, são os agentes primários utilizados no controle (ZHANG, *et al.*, 2015; WANGEN *et al.*, 2015).

Apesar da eficiência do controle químico, torna-se evidente que sua utilização sucessiva, isolada e em muitos casos inadequada, não é a forma mais racional de se controlar insetos-pragas, pois observa-se falhas no controle e, conseqüentemente, perdas em campo, o que representa um grande obstáculo a ser superado. Essas falhas e prejuízos advêm do aumento do número de indivíduos resistentes aos inseticidas no campo, em consequência da seleção intensa e a evolução da resistência em populações naturais (YU, 2006; HU *et al.*, 2014; IRAC, 2016).

A literatura descreve diversos casos de resistência de *S. frugiperda* a inseticidas (YU *et al.*, 2003; YU, 2006; OLIVEIRA, 2008; DOURADO, 2009; RIBEIRO, 2014) e de *P. xylostella* (SUN *et al.*, 1986; KWON *et al.*, 2004; SAYYED e WRIGHT, 2006; SANTOS, 2010; HU *et al.*, 2014), principalmente à piretróides, organofosforados, espinosade, carbamatos, diamidas e até mesmo à *B. thuringiensis* no caso da traça-das-crucíferas. De acordo com dados do Artropod Pesticide Resistance Database - APRD (2019) já foram registrados 142 casos de resistência de *S. frugiperda* a 41 ingredientes ativos e 866 casos de resistência de *P. xylostella* (pelo menos uma população) a 95 compostos (APRD, 2019). *Plutella xylostella* é uma das poucas espécies de insetos que desenvolveram resistência de campo à praticamente todas as principais classes de inseticidas (FURLONG *et al.*, 2013) e é classificada em primeiro lugar no APRD para o maior número de casos de resistência à inseticidas (APRD, 2019).

Em virtude da capacidade que populações de *S. frugiperda* e de *P. xylostella* tem em desenvolver resistência a vários ingredientes ativos, a avaliação de estratégias visando o gerenciamento da evolução da resistência torna-se um aliado dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP). A principal opção de manejo é a rotação de diferentes inseticidas, alternando o modo de ação ao longo das gerações da praga-alvo. Nessa estratégia, os tratamentos são aplicados no mesmo espaço, mas em diferentes momentos e, espera-se que os insetos resistentes a um determinado produto sejam mortos pelo próximo inseticida utilizado na rotação (ONSTAD, 2008). O sistema rotacionado favorece o restabelecimento da frequência de indivíduos suscetíveis onde um determinado produto não é utilizado por certo período de tempo e ainda existe a possibilidade de imigração de indivíduos suscetíveis de áreas não tratadas para aquelas tratadas contribuindo na “diluição” da frequência de resistência (DENNEHY *et al.*, 1990, ROUSH e DALY, 1990).

Não é novidade que as alterações bioquímicas e metabólicas podem gerar um custo adaptativo associado à resistência (GOULD, 1998), alocando e utilizando recursos pelos processos fisiológicos do inseto de uma maneira diferente, influenciando processos metabólicos e o desenvolvimento em linhagens resistentes e em evolução (GUEDES *et al.*, 2006). O custo adaptativo já foi observado em *S. frugiperda* resistente aos inseticidas lufenuron e deltametrina (SILVA, 2004) e para *P. xylostella* resistente a avermectina (LI *et al.*, 2000), fenvalerate (CHEN e NAKASUJI, 2004), tebufenoazide (CAO e HAN, 2006), espinosade (LI *et al.*, 2007; OKUMA, 2015), clorpirifos (ZHANG *et al.*, 2015) e Metaflumizona (SHEN *et al.*, 2017).

O custo adaptativo pode ser explorado no Manejo de Resistência a Inseticidas (MRI) e garante o sucesso quando a rotação de moléculas químicas for adotada, pois os genes de resistência quando são expressos na ausência de inseticidas (pressão de seleção) podem afetar negativamente a evolução da resistência (LI *et al.*, 2007), impedindo a multiplicação e restabelecimento da praga resistente no campo (GASSMANN *et al.*, 2009; JAKKA *et al.*, 2014), ou até mesmo revertendo a resistência em função da natureza de tais custos (RIBEIRO *et al.*, 2013).

A adoção do MRI integrada com outras táticas de controle de pragas, como controle biológico pode auxiliar na redução da resistência em campo. A importância dos inimigos naturais como base de práticas sustentáveis de manejo de artrópodes-praga tem sido amplamente reconhecida (FURLONG, 2015).

Dentre os parasitoides, *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) tem sido apontado como potencial inimigo natural de *S. frugiperda* para

uso no campo (SÁ, 1991; BESERRA *et al.*, 2002; BALESTRIN e BORDINI, 2016). Porém, não está claro se as alterações envolvidas no processo de evolução da resistência a afeta também características específicas do hospedeiro que interferem no reconhecimento e estabelecimento do parasitoide, permitindo assim, a associação e a indicação de *T. pretiosum* no manejo de populações de artrópodes-praga que apresentem certa frequência de resistência a inseticidas.

O desenvolvimento de pesquisas que forneçam subsídios para contribuir e facilitar o desenvolvimento de programas ativos de manejo de resistência visando reduzir a evolução do problema no campo e, facilitar a tomada de decisão torna-se um importante aliado no MRI, pois reduz as chances de realização de aplicações desnecessárias e manejo malsucedido, garantindo a preservação da vida útil das moléculas.

Considerando a importância do conhecimento sobre o comportamento de populações expostas à sucessivas aplicações de inseticidas com potencial para o controle destas pragas e possíveis interferências no *fitness* dessas populações com frequência de resistência objetivou-se: 1) Avaliar a aplicação rotacionada de inseticidas químicos e biológicos utilizados no manejo de *P. xylostella* resistente a deltametrina e *S. frugiperda* resistente a metaflumizona; 2) estimar os custos adaptativos em indivíduos resistentes por meio da análise de parâmetros biológicos; 3) determinar a possibilidade de resistência cruzada a outros inseticidas não relacionados no manejo de *P. xylostella*; 4) avaliar a suscetibilidade de populações de *P. xylostella* coletada na Serra da Ibiapaba, Ceará e; 5) avaliar o desempenho de *T. pretiosum* sobre ovos de populações de *S. frugiperda* com frequência de resistência ao inseticida Metaflumizona.

## 2 MANEJO DE RESISTÊNCIA DE INSETICIDAS PARA O CONTROLE DE *Plutella xylostella* (LINNAEUS) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) RESISTENTE A DELTAMETRINA E CUSTO ADAPTATIVO ASSOCIADO

### RESUMO

*Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) desenvolveu resistência a muitas classes de inseticidas e este fenômeno torna-se um desafio no controle desta praga. Assim, objetivou-se avaliar a rotação de ingredientes ativos no manejo de *P. xylostella* resistente a deltametrina, a possibilidade de resistência cruzada e a possível existência de custo adaptativo associado à resistência. Foram avaliadas quatro gerações e em cada uma das avaliações foram expostas, no mínimo, 200 lagartas/tratamento, sendo: aplicação sucessiva de deltametrina (D-Delta); aplicação sucessiva de *Bt* (D-Bt); alternância de inseticidas [(D-Rotação) - G<sub>2</sub>= exposição a abamectina, G<sub>3</sub>= exposição a *Bt*, G<sub>4</sub>= exposição a indoxacarb e G<sub>5</sub>= exposição a abamectina] e mantidas na ausência dos inseticidas (D-Controle). Em todos os tratamentos, os sobreviventes, após três-quatro dias da aplicação, foram utilizados para a formação da nova população = gerações seguintes. Na G<sub>3</sub> e G<sub>6</sub>, com as populações oriundas da seleção e suscetível, foram avaliados: viabilidade dos ovos, sobrevivência larval, ciclo ovo-pupa e o peso de pupas com até 48 h de idade. Na G<sub>6</sub>, além dos parâmetros citados também foram avaliados: razão sexual, longevidade de adultos, fecundidade diária e total e estimou-se também a tabela de vida de fertilidade. A frequência de resistência foi estimada com base na porcentagem de sobrevivência das lagartas tratadas com cada inseticida em cada geração. Constatou-se aumento da frequência de resistência quando a população de *P. xylostella* foi exposta sucessivamente a deltametrina e à *Bt*. As aplicações alternadas reduziram significativamente a frequência de resistência ao longo das gerações. Não foi observada resistência cruzada entre deltametrina e *Bt* com os demais inseticidas. As populações oriundas dos tratamentos com exposição sucessiva dos inseticidas apresentaram redução no peso de pupas, longevidade de adultos, taxa líquida de reprodução e aptidão relativa, sugerindo existência de custos adaptativos associados à resistência e, portanto, interferência na evolução da resistência em populações naturais.

**Palavras-chave:** Traça-das-crucíferas. Controle químico. Suscetibilidade. Parâmetros biológicos.

## ABSTRACT

*Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) has developed resistance to many classes of insecticides and this phenomenon becomes a challenge in the control of this pest. The objective of this study was to evaluate the rotation of active ingredients in the management of *P. xylostella* resistant to deltamethrin, the possibility of cross resistance and the possible existence of an adaptive cost associated with resistance. Four generations were evaluated and at least 200 larvae/treatment were exposed in each of the evaluations, being: successive application of deltamethrin (D-Delta); successive application of *Bt* (D-Bt); alternation of insecticides (D-Rotation) - G<sub>2</sub>= exposure to abamectin, G<sub>3</sub>= exposure to *Bt*, G<sub>4</sub>= exposure to indoxacarb and G<sub>5</sub>= exposure to abamectin] and maintained in the absence of insecticides (D-Control). In all treatments, survivors after three-four days of application were used for the formation of the new population= following generations. In the G<sub>3</sub> and G<sub>6</sub>, the selection and susceptible populations were evaluated: Egg viability, larval survival, egg-pupal cycle, and pupal weight up to 48 h. In G<sub>6</sub>, in addition to the mentioned parameters were also evaluated: Sexual ratio, adult longevity, daily and total fecundity, and the fertility life table was also estimated. The resistance frequency was estimated based on the survival percentage of the larvae treated with each insecticide in each generation. The resistance frequency was increased when the *P. xylostella* population was successively exposed to deltamethrin and *Bt*. Alternating applications have significantly reduced the frequency of resistance over generations. There was no cross-resistance between deltamethrin and *Bt* with the other insecticides. Populations from the treatments with successive insecticide exposures showed reduction in pupae weight, adult longevity, net reproduction rate and relative fitness, suggesting the existence of adaptive costs associated with resistance and, therefore, interference in the evolution of resistance in populations natural.

**Keywords:** Diamondback moth. Chemical control. Susceptibility. Life history.

## 1 INTRODUÇÃO

A traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), é o principal fator limitante para o cultivo de crucíferas em áreas tropicais no mundo, dado o elevado número anual de gerações que podem causar perdas de até 100% (ULMER *et al.*, 2002; ZALUCKI *et al.*, 2012). As medidas de controle visando minimizar o ataque da traça-das-crucíferas são diversificadas, porém, apesar das possibilidades, a grande maioria das crucíferas são tratadas profilaticamente com inseticidas (GRZYWACZ *et al.*, 2010). Os produtores de crucíferas das mais diversas regiões do Brasil e do mundo fazem uso intensivo de inseticidas como principal técnica de controle, geralmente efetuando inúmeras aplicações com diferentes inseticidas e, em alguns casos, sem rotação de princípios ativos. Uma estimativa, em escala global e realizada em 2012, demonstrou que o prejuízo referente ao custo do manejo de *P. xylostella* atingiu cerca de US\$ 1,4 bilhão, subindo para US\$ 2,7 bilhões quando as perdas de produção foram incluídas (ZALUCKI *et al.*, 2012).

*Plutella xylostella* é uma das poucas espécies de insetos que desenvolveram resistência de campo à praticamente todas as principais classes de inseticidas (FURLONG *et al.*, 2013) e é classificada em primeiro lugar no Arthropod Pesticide Resistance Database (APRD) para o maior número de casos de resistência a inseticidas (APRD, 2019). Até 2019, no APRD, estavam descritos 95 compostos para os quais a resistência em *P. xylostella* foi relatada em pelo menos uma população (APRD, 2019).

Diante dessa problemática, algumas estratégias são recomendadas visando gerenciar a evolução da resistência aos inseticidas lançados no mercado com diferentes ingredientes ativos (SUDO *et al.*, 2017). Dentre as estratégias indicadas, a aplicação de dois ou mais inseticidas alternados durante o ciclo de produção, ou seja, rotação das moléculas químicas (COYNE, 1951), desempenha papel importante no gerenciamento da evolução da resistência (BIELZA *et al.*, 2008; CLOYD, 2010). Presume-se que, ao rotacionar inseticidas com modo de ação diferentes, a pressão de seleção é reduzida e, quando a praga é exposta ao próximo produto, resultará na sua morte (ATTIQUE *et al.*, 2006).

O alcance do sucesso na adoção da rotação de moléculas químicas baseia-se na utilização de inseticidas com modo de ação e metabolismos diferentes (ROUSH, 1989), na presença de custo adaptativo associado à resistência e na ausência de resistência cruzada entre os componentes da rotação (GEORGHIU, 1983; TABASHNIK, 1990). O custo adaptativo já foi documentado na resistência de *P. xylostella* a alguns inseticidas como tebufenozida (CAO e HAN, 2006), fufenozida (SUN *et al.*, 2012), abamectina (WANG e WU, 2014),



ciantraniliprole (LIU *et al.*, 2015) e metaflumizona (SHEN *et al.*, 2017), influenciando no tempo de desenvolvimento, fertilidade e fecundidade de populações resistentes.

Baseado nas premissas do Manejo de Resistência a Inseticidas (MRI) (IRAC, 2013), Atumurirava *et al.* (2016) propuseram o MRI em Fiji para o controle de *P. xylostella* resistente a Deltametrina em brassicaceas. As aplicações de inseticidas deveriam ocorrer seguindo planejamento em períodos pré-determinados, cuja duração deveria aproximar-se ou até mesmo coincidir com o tempo de geração da praga-alvo na localidade de ocorrência (IRAC 2013; ATUMURIVAVA, 2015). No caso de *P. xylostella*, assumindo temperatura diurna média de 24°C, uma geração será completada em aproximadamente 18 dias (LIU *et al.*, 2002). Assim, o plano de gerenciamento proposto indicou a rotação de diferentes ingredientes ativos [Abamectina; *Bacillus thuringiensis* (Berliner); clorraniliprole ou indoxacarb; lufenuron ou abamectina] em “janelas” de 18 dias durante o ciclo da cultura, desde a etapa de viveiro até a colheita (ATUMURIRAVA *et al.*, 2016). Porém, apesar do esforço em desenvolver abordagens integradas ao manejo desta praga (FURLONG *et al.*, 2008; GRZYWACZ *et al.*, 2010), a vantagem relativa da rotação de inseticidas ainda precisa ser validada em âmbito experimental em função da localidade de ocorrência da praga.

A falta de confiança na eficiência das “ferramentas”, muitas vezes, impede que produtores adotem o manejo integrado (ZALUCKI *et al.*, 2009) e, obviamente as limitações ou mesmo falta de informações acabam encobrendo a real eficiência da técnica e torna extremamente complexa a tomada de decisão (SHEPARD *et al.*, 2009).

Os objetivos deste trabalho foram: 1) avaliar a aplicação rotacionada de abamectina, *Bacillus thuringiensis* (Berliner) e indoxacarbe no manejo de *P. xylostella* resistente à deltametrina; 2) avaliar o efeito da ausência e aplicação sucessiva de *Bt* e deltametrina em subpopulações provenientes da população resistente; 3) verificar a possibilidade de resistência cruzada a outros inseticidas não relacionados e; 4) estimar o possível custo adaptativo das populações resultantes.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na “School of Biological Sciences” da Universidade de Queensland (UQ), Brisbane, Austrália.

## 2.1 Populações e inseticidas

A população padrão de suscetibilidade “Waite” foi mantida em laboratório por mais de 200 gerações sem exposição a inseticidas. A população resistente a deltametrina (D) foi coletada em 2008 na “Sigatoka Lower Valley em Viti Levu” - Fiji e analisada quanto à frequência de resistência, sendo mantida sobre pressão de seleção em ensaios posteriores.

Foram utilizados os inseticidas: Suncis [deltametrina - 25 g i.a/L EC (grupo dos piretróides)], Multiguard [abamectina - 18 g i.a/L EC (grupo das avermectinas)], Steward [indoxacarb - 150 g i.a./L EC (grupo químico das oxadiazinas)] e *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki* [inseticida biológico].

## 2.2 Bioensaios de seleção artificial e alternância de inseticidas

Todos os bioensaios foram realizados conforme método padrão (imersão foliar) (FURLONG, 1993; ENDERSBY *et al.*, 2008 modificado por Atumurirava (2015).

Curvas de concentração-resposta para cada inseticida foram estabelecidas para a população resistente a deltametrina na geração inicial ( $G_1$ ) para verificação da suscetibilidade e obtenção das concentrações letais utilizadas nos ensaios subsequentes. Cada inseticida e suas respectivas concentrações (Tabela 1) foram diluídas em água destilada com adição do surfactante Tween 80 (0,03%). No controle (testemunha) foi utilizada água destilada mais o Tween 80 (0,03%).

Tabela 1. Inseticidas e concentrações utilizadas no experimento

Inseticidas	Concentrações	Populações testadas
Deltametrina (ppm)	0,1; 0,3; 1; 3; 10 e 30	Waite e Q
	6; 18; 60; 180; 600 e 1800	Delta (D), D-Delta, D-Bt e D-Rotação
Abamectina (ppm)	0; 0,002; 0,006; 0,02; 0,06 e 02	Todas as populações
Indoxacarb (ppm)	0; 0,005; 0,015; 0,05; 0,15 e 0,5	Todas as populações
<i>B. thurigiensis</i> (g/L)	0; 0,0003; 0,003; 0,03 e 0,01	Todas as populações

Fonte: Elaborada pelo autor.

O ensaio foi realizado utilizando-se discos foliares (4,8 cm de diâmetro) retirados de folhas de couve-chinesa *Brassica rapa* var. *chinensis*. Quatro discos cortados foram imersos em cada solução inseticida por 10 segundos. Após a imersão e espera de 10 segundos para o escoamento, os discos foram colocados, com a face abaxial para cima, em folha de alumínio corrugado para secagem por 1 h. Transcorrido o período de secagem, os discos foliares

tratados foram colocados individualmente em placas de Petri (5,0 cm de diâmetro) forradas com papel filtro e 10 lagartas de 3º instar foram transferidas para cada placa.

As placas de Petri foram acondicionadas em câmaras climatizadas sob condições controladas ( $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , UR 75% e fotofase 12:12 h) e, 48 h após a exposição das lagartas aos inseticidas, os discos foliares tratados foram removidos e substituídos por discos foliares de folhas de couve-chinesa frescos e não tratados com inseticidas.

A avaliação da mortalidade foi realizada após 72 h para os inseticidas Deltametrina, Indoxacarb e Abamecina, e após 96 h para *Bt*. Os indivíduos foram considerados mortos quando não apresentaram movimento aparente após serem tocados com um pincel.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado variando de cinco a seis concentrações para cada inseticida (Tabela 1), com quatro repetições, sendo cada uma representada por um disco foliar de couve-chinesa com 10 lagartas.

As concentrações estabelecidas para manutenção da pressão de seleção e aplicações em alternância foram:  $CL_{50} = 123$  ppm de deltametrina, 0,03 ppm de abamectina, 0,12 ppm de indoxacarb e 0,003 g/L de *Bt*.

A partir do estabelecimento das  $CL_{50}$ , a população inicial resistente a deltametrina foi dividida em quatro subpopulações que constituíram os tratamentos: 1) aplicação sucessiva de deltametrina (D-Delta) ao longo de quatro gerações ( $G_2$  à  $G_5$ ); 2) aplicação sucessiva de *Bt* (D-Bt) ao longo de quatro gerações ( $G_2$  à  $G_5$ ); 3) alternância de inseticidas [(D-Rotação) -  $G_1 =$  exposição a abamectina,  $G_2 =$  exposição a *Bt*,  $G_3 =$  exposição a indoxacarb e  $G_4 =$  exposição a abamectina) e; 4) mantidas ao longo de quatro gerações ( $G_2$  à  $G_5$ ) na ausência de inseticidas (D-Controle).

Em cada geração, amostras de no mínimo 250 lagartas foram expostas a cada inseticida e suas respectivas  $CL_{50}$ . Quarenta e oito horas após a exposição, os discos foliares foram trocados por discos foliares não-tratados com inseticidas conforme descrito anteriormente. Em cada ensaio de seleção e população (tratamento) foi avaliado uma sub-amostra de 50 lagartas (cinco placas de Petri). Cada placa foi examinada e a mortalidade registrada. Os sobreviventes de cada amostra foram utilizados para a formação da nova população, ou seja, das gerações seguintes.

Na  $G_6$  foi estabelecida a curva de concentração-resposta com todos os inseticidas e em todas as sub-populações (D-Controle, D-Delta, D-Bt e D-Rotação) para verificação da suscetibilidade e obtenção da  $CL_{50}$ . Foram testadas ainda a curva de concentração-resposta para duas outras populações consideradas padrão de suscetibilidade (Waite e Q).

A frequência de resistência foi estimada com base na porcentagem de sobrevivência das lagartas tratadas com cada inseticida ao longo das gerações.

### 2.3 Estimativa da tabela de vida de populações suscetíveis e resistentes de *P. xylostella*

Para a realização desta etapa, foram utilizadas a sub-população suscetível (Q), a resistente a deltametrina (D-Delta), a que foi exposta ao *Bt* (D-Bt) e aquela exposta aos inseticidas em rotação (D-Rotação).

Os adultos de *P. xylostella*, separados por cada sub-população, foram inseridos em gaiolas adaptadas (60,0 x 60,0 cm) contendo mudas de couve-chinesa com cinco folhas formadas, onde permaneceram durante 15 horas, incluindo o período noturno, para oviposição. Na manhã do dia seguinte, as plantas foram removidas das gaiolas e, com auxílio de um marcador, localizou-se os ovos para inspeção e posterior isolamento. As folhas foram cuidadosamente inseridas em potes plásticos e estes mantidos em câmaras climatizadas ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , UR 75% e fotofase 12:12 h) por dois dias (coincidente com o período de incubação dos ovos). Após o período de incubação, o tecido da folha em torno de cada ovo foi recortado utilizando bisturi e transferido individualmente para placas de Petri (5,0 cm de diâmetro) contendo papel de filtro e uma pequena porção de folhas frescas de couve-chinesa, sendo novamente incubadas em câmaras climatizadas ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , UR 75% e fotofase 12:12 h). Foram obtidos 42 ovos da população suscetível (Q); 50 ovos da população resistente a deltametrina (D-Delta), 53 ovos da população exposta a *Bt* (D-Bt) e 35 ovos da população exposta à rotação (D-Rotação).

Cada placa de Petri foi avaliada a cada 24 h registrando a mortalidade em cada fase e a mudança de instar. Quando as larvas emergiram dos ovos, forneceu-se folhas frescas de couve-chinesa, conforme necessário. Ao atingir a fase de pupa, o papel filtro e qualquer material restante foi removido da placa de Petri. Os casulos envoltos das pupas foram retirados com auxílio de pinça fina e as mesmas foram pesadas após 48 h de formadas. As pupas foram mantidas nas mesmas condições controladas citadas anteriormente. No início da emergência das mariposas, as mesmas foram sexadas observando a parte ventral, na qual os machos apresentam uma mancha alongada e as fêmeas duas manchas circulares de coloração escura (VACARI, 2009).

Para avaliação da fecundidade; 13, 10, 9 e 7 casais da população suscetível (Q), deltametrina (D-Delta), *Bt* (D-Bt) e D-Rotação, respectivamente, foram individualizados em gaiolas adaptadas (7,0 x 12,0 cm) fechadas na parte superior com tecido tipo "voil". Os insetos foram alimentados com solução aquosa de mel a 10%. Para determinar a fecundidade

diária e total por fêmea, foram inseridos diariamente nas gaiolas discos cortados (5,0 cm de diâmetro) de folhas frescas de couve-chinesa. Diariamente a coleta e a contagem dos ovos do substrato de oviposição foi realizada, sendo monitorado o tempo de vida dos machos e de fêmeas.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e alguns parâmetros foram avaliados no início da divisão das subpopulações, em  $G_3$  e no final, em  $G_6$  sendo: a viabilidade da fase de ovo, a sobrevivência larval, o ciclo ovo-pupa e, o peso de pupas com até 48 h de idade. Na  $G_6$ , além dos parâmetros citados, foram avaliados ainda: razão sexual, longevidade de adultos (machos e fêmeas) e fecundidade diária e total.

A partir dos dados obtidos na  $G_6$  foram estimados os parâmetros da tabela de vida de fertilidade: Taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), ou seja, a taxa de aumento populacional, considerando fêmeas de uma geração para outra, ou ainda, o número de fêmeas geradas por fêmea parental por geração; intervalo de tempo entre cada geração (T); capacidade inata de aumentar em número (rm); número de indivíduos adicionados à população, por fêmea/dia, que darão origem às fêmeas ( $\lambda$ ) e; o tempo necessário para a população duplicar em número (TD).

#### 2.4 Análise de dados

Os dados de mortalidade para estimativa da concentração-reposta foram submetidos à análise de Probit por meio do programa SAS e posteriormente calculados os valores das concentrações letais (CL) por meio software Statistical Analysis System (SAS 9.0). A razão de resistência (RR) foi calculada usando:  $CL_{50}$  da população resistente/ $CL_{50}$  da população suscetível de referência e a classificação do nível de resistência das populações aos inseticidas foi realizada de acordo com Shen e Wu (1995), onde considera-se como suscetível ( $RR < 3,0$ ), baixa resistência ( $RR = 3,1-5,0$ ), resistência moderada ( $RR = 5,1-10,0$ ), resistência média ( $RR = 10,1-40,0$ ); alta resistência ( $RR = 40,1-160$ ) e resistência extremamente alta ( $RR > 160,0$ ). Foi observada a diferença entre as populações pelo Intervalo de Confiança (95% IC). Todos os dados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Duncan e teste F ( $p \leq 0,05$ ). A “aptidão relativa (Rf)” foi estimada utilizando valores de  $R_0$  ( $Rf = R_0$  da população resistente/ $R_0$  da população suscetível), onde:  $Rf > 1$  sugere que a taxa de reprodução líquida da população resistente aumenta, enquanto que  $Rf < 1$  sugere que a população resistente tem custo adaptativo (LI *et al.* 2000; CA e HAN, 2006; ABBAS *et al.*, 2014).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Seleção artificial e aplicação em alternância de inseticidas

A população inicial (Delta) apresentou resistência média (RR= 12,0) a deltametrina, resistência moderada a abamectina (RR= 6,0) e baixa resistência a indoxacarb (RR= 3,0) e *Bt* (RR= 3,0), patamares nos quais originou-se as sub-populações investigadas na pesquisa.

A exposição sucessiva desta população inicial (D-Delta) à deltametrina proporcionou aumento na sobrevivência larval de 44,6% ao longo de três gerações expostas a 123 ppm. Quando esta concentração passou para 250 ppm, observou-se aumento de 18,0% na sobrevivência em apenas uma geração (Tabela 2). Similarmente, a exposição sucessiva de *Bt* proporcionou aumento expressivo de 27,6% após quatro gerações. Ao rotacionar os princípios ativos: abamectina, *Bt*, indoxacarb e abamectina, na G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>, G<sub>4</sub> e G<sub>5</sub>, respectivamente, houve decréscimo de 48,0% na sobrevivência larval comparando-se a G<sub>2</sub> e G<sub>4</sub> (Tabela 2).

Os resultados de concentração-resposta obtidos na G<sub>6</sub> confirmam os resultados anteriores referente a sobrevivência das populações ao longo das gerações (Tabela 3). A manutenção da população na ausência dos inseticidas (D-Controle) resultou no aumento da suscetibilidade para ambos, com exceção de *Bt*, quando comparadas pelo Intervalo de Confiança (95%), as CL's das gerações G<sub>1</sub> e G<sub>6</sub> (Tabela 3). A CL<sub>50</sub> de deltametrina reduziu de 123,32 (87,22-174,32) ppm (RR= 12,0) para 46,33 (32,92-64,43) ppm (RR= 4,3); de abamectina de 0,03 (0,02-0,04) ppm (RR= 6,0) para 0,009 ppm (RR= 1,8); de indoxacarb de 0,12 ppm (RR= 3,0) para 0,06 (0,04-0,09) ppm (RR= 1,5). Quando expostas à *Bt*, constatou-se estabilidade entre as gerações, não sendo observada nenhuma alteração das CL's comparadas (G<sub>1</sub> e G<sub>6</sub>) e, não diferindo significativamente pela sobreposição do Intervalo de Confiança (95%) (Tabela 3).

Quanto a população inicial resistente a deltametrina (D-Delta), verificou-se efeito significativo na CL<sub>50</sub> com relação a continuidade da exposição à deltametrina. Constatou-se aumento de 123,32 (87,22-174,32) ppm (RR= 12,0) para 156,4 (107,23-228,43) ppm (RR= 15,0). Não foram verificadas diferenças significativas nas CL<sub>50</sub>'s quando a população D-Delta foi exposta aos inseticidas: abamectina, indoxacarb e *Bt* em comparação com a população D-Controle, ambas na G<sub>6</sub> (Tabela 3).

Verificou-se que ao longo das quatro gerações, a exposição contínua ao *Bt* proporcionou aumento significativo na CL<sub>50</sub> da população resultante, saindo de 0,003 (0,001-0,004) g/L (RR= 3,0) para 0,008 (0,005-0,012) g/L (RR= 8,0), produzindo uma subpopulação com resistência média ao produto (Tabela 3). Quando os demais inseticidas foram aplicados

nessa mesma população na G<sub>5</sub>, não foi constatada diferença significativa entre as CL's da população D-Controle mas, observou-se tendência na redução da CL<sub>50</sub> de deltametrina (Tabela 3).

A população inicial exposta aos inseticidas sobre sistema rotacionado ao longo das quatro gerações (G<sub>1</sub>= abamectina, G<sub>2</sub>= *Bt*, G<sub>3</sub>= indoxacarb e G<sub>4</sub>= abamectina) proporcionou aumento da suscetibilidade das lagartas à deltametrina (Tabela 3). Comparando a G<sub>1</sub> da população D-Controle com a G<sub>6</sub> da D-Rotação verificou-se redução de 123,32 (87,22-174,32) ppm (RR= 12,0) para 59,3 (40,21-86,44) ppm (RR= 5,5), isto representa, aproximadamente RR 7,0 vezes menor. Quando essa mesma população, proveniente da exposição em rotação, foi exposta aos inseticidas abamectina e indoxacarb verificou-se alterações significativas das CL's obtidas quando comparada com a G<sub>1</sub> da população D-Controle de 0,03 (0,02-0,04) ppm (RR= 6,0) e 0,12 (0,09-0,18) ppm (RR= 3,0) para 0,01 (0,006-0,01) ppm (RR= 2,0) e 0,07 (0,04-0,09) ppm (RR= 1,8), respectivamente. A CL obtida após exposição ao *Bt* não alterou, mantendo-se estável quando a população foi mantida em rotação (Tabela 3).

### 3.2 *Biologia e parâmetros populacionais*

Não houveram diferenças significativas na viabilidade dos ovos e na sobrevivência larval entre as populações testadas oriundas da seleção ( $p > 0,05$ ) (Tabela 4).

A duração do período de incubação dos ovos das populações variou entre 4,8 e 5,4 dias na G<sub>3</sub> e 3,3 a 4,3 na G<sub>6</sub> (Tabela 5). Em ambas as gerações, foi constatada diferença significativa, G<sub>3</sub> ( $F_{5,109} = 7,08$ ,  $P < 0,05$ ) e G<sub>6</sub> ( $F_{5,120} = 19,74$ ,  $P < 0,05$ ), em todas as subpopulações expostas aos inseticidas e na ausência destes, quando comparado com as populações suscetíveis (Tabela 5).

As lagartas oriundas das populações mantidas em contato constante com deltametrina e *Bt* e no sistema rotacionado apresentaram menor desenvolvimento larval em ambas as gerações, com menor duração na população D-Delta na, G<sub>3</sub> ( $F_{5,109} = 8,87$ ,  $P < 0,05$ ) e G<sub>6</sub> ( $F_{5,120} = 7,23$ ,  $P < 0,05$ ). As pupas provenientes da população D-Delta apresentaram maior duração do período de desenvolvimento na G<sub>3</sub> ( $F_{5,109} = 14,79$ ,  $P < 0,05$ ), sendo 1,1 dia a mais que a população Q (suscetível) (Tabela 5) não diferindo estatisticamente na G<sub>6</sub> ( $F_{5,120} = 0,90$ ,  $P = 0,47$ ).

O ciclo biológico (ovo-pupa) variou de 17,1 a 18,4 dias e 14,7 a 17,0 dias na G<sub>3</sub> e G<sub>6</sub>, respectivamente (Tabela 6). Constatou-se menor período de desenvolvimento do ciclo das populações provenientes da exposição das lagartas a *Bt* (D-Bt) e no sistema rotacionado (D-Rotação) de inseticidas na G<sub>3</sub> ( $F_{5,109} = 5,44$ ,  $P = 0,0002$ ). Em contraste, todas as populações

tiveram o ciclo afetado na  $G_6$  ( $F_{5,120} = 16,97$ ,  $P = 0,0001$ ), após a última exposição das lagartas aos inseticidas, observando-se redução do ciclo em todas as populações quando comparadas com as suscetíveis (Tabela 6).

O peso de pupas provenientes das lagartas expostas aos inseticidas foi afetado pelos tratamentos,  $G_3$  ( $F_{5,109} = 15,91$ ,  $P = 0,001$ ) e  $G_6$  ( $F_{5,119} = 3,37$ ,  $P = 0,007$ ) (Figura 1). Verificou-se que apenas uma geração de exposição aos inseticidas ( $G_3$ ) foi suficiente para reduzir, em cerca de 17,6, 21,6 e 25,5% o peso de pupas oriundas das populações D-Rotação, D-Bt e D-Delta, respectivamente. Com o avanço das seleções, a redução do peso na última geração foi verificada apenas nas pupas oriundas da população D-Delta, de 13,2% (Figura 1).

Fêmeas provenientes das populações mantidas sobre pressão de seleção a deltametrina (D-Delta) e *Bt* (D-Bt), ao longo das quatro gerações, apresentaram menor longevidade ( $p = 0,02$ ) que a população suscetível com redução de 1,7 e 2,2 dias, respectivamente. Enquanto que, machos oriundos de todas as populações, D-Delta, D-Bt e D-Rotação, apresentaram redução na longevidade ( $p < 0,05$ ) de 2,2, 2,8 e 2,7 dias, respectivamente, em comparação com a população suscetível. Não houve efeito significativo na razão sexual ( $p = 0,08$ ) e no número de ovos por fêmea ( $p = 0,20$ ) das populações expostas aos inseticidas em todos os tratamentos quando comparada com a suscetível (Tabela 7).

No que se refere aos parâmetros populacionais, a capacidade da população aumentar em número a cada geração, ou seja, a taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ) foi afetada significativamente ( $p < 0,05$ ), com exceção da D-Rotação. As populações resultantes da seleção apresentaram redução de aproximadamente 39,0 e 42 vezes, respectivamente, na capacidade de gerar descendentes fêmeas quando comparado com a população suscetível (Tabela 8).

A taxa intrínseca de crescimento populacional ( $r_m$ ), o tempo necessário para a população duplicar em número de indivíduos (TD) e a razão finita de aumento ( $\lambda$ ), que corresponde ao número de indivíduos adicionados à população foram afetadas ( $p < 0,05$ ) apenas na população mantida sobre pressão no sistema rotacionado, com valores de 0,22 fêmea/fêmea/dia, 3,06 dias e 1,25 indivíduo/fêmea/dia, respectivamente (Tabela 8).

Quanto ao tempo de uma geração (T), todas as populações provenientes da pressão de seleção apresentaram menor intervalo de tempo ( $p < 0,05$ ) entre cada geração, redução de aproximadamente 2,5 dias, em comparação com a população suscetível (Tabela 8).

A aptidão relativa ( $R_f$ ) observada para as populações D-Delta, D-Bt e D-Rotação foi de apenas 0,52, 0,50 e 0,90, respectivamente, indicando a presença de custo aptivo em todas



as populações com menor expressividade na população mantida sobre rotação dos princípios ativos (Tabela 8).

Tabela 2. Mortalidade induzida em amostras de sub-populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) provenientes da população (SLV) (coletada em “Sigatoka Lower Valley - Fiji”) por meio de seleção no laboratório (gerações G<sub>2</sub> - G<sub>5</sub>) com os inseticidas deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (*Bt*) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina

População	Geração	n <sub>a</sub>	% sobrevivência	% de alteração na sobrevivência ao longo de três gerações
<b>D-Controle</b>	G <sub>2</sub>	40	98,0	-
	G <sub>3</sub>	50	96,0	-
	G <sub>4</sub>	50	96,0	-
	G <sub>5</sub>	50	90,0	-
<b>D-Delta</b>	G <sub>2</sub> (Deltametrina) -123 ppm	50	47,0	-
	G <sub>3</sub> (Deltametrina) -123 ppm	50	52,0	-
	G <sub>4</sub> (Deltametrina) -123 ppm	50	68,0	44,6
	G <sub>4</sub> (Deltametrina) - 250 ppm	50	22,0	-
	G <sub>5</sub> (Deltametrina) - 250 ppm	50	26,0	18,0
<b>D-Bt</b>	G <sub>2</sub> - 0,003 g/L	50	58,0	-
	G <sub>3</sub> - 0,003 g/L	50	66,0	-
	G <sub>4</sub> - 0,003 g/L	50	72,0	-
	G <sub>5</sub> - 0,003 g/L	50	74,0	27,6
<b>D-Rotação</b>	G <sub>2</sub> (Abamectina) - 0,03 ppm	50	54,0	-
	G <sub>3</sub> ( <i>Bt</i> ) - 0,003 g/L	50	50,0	-
	G <sub>4</sub> (Indoxacarbe.) - 0,12 ppm	50	44,0	-
	G <sub>5</sub> (Abamectina) - 0,03 ppm	50	28,0	-48,0

Fonte: Elaborada pelo autor. <sup>a</sup>número de indivíduos amostrados na avaliação. Concentrações letais (CL<sub>50</sub>) obtidas na G<sub>0</sub> e utilizadas ao longo das gerações em todos os tratamentos.

Tabela 3. Concentração-mortalidade em populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina

População	Inseticida	Geração	CL <sub>50</sub> [ppm](95% IC)	Slope (±ep)	x <sup>2</sup>	GL <sup>a</sup>	RR
<b>D-Controle</b>	Deltametrina	G <sub>1</sub>	123,32 (87,22-174,32)*	1,31 ±0,14	2,29	4	12,0
	Abamectina	G <sub>1</sub>	0,03 (0,02-0,04)*	1,48 ±0,20	2,70	4	6,0
	Indoxacarb	G <sub>1</sub>	0,12 (0,09-0,18)*	1,94 ±0,28	4,37	3	3,0
	Bt	G <sub>1</sub>	0,003 g/L (0,001-0,004)	1,32 ±0,20	1,50	3	3,0
	Deltametrina	G <sub>6</sub>	46,33 (32,92-64,43)	1,84 ±0,23	1,41	4	4,3
	Abamectina	G <sub>6</sub>	0,009 (0,006-0,01)	1,27 ±0,19	1,02	4	1,8
	Indoxacarb	G <sub>6</sub>	0,06 (0,04-0,09)	1,50 ±0,20	5,08	3	1,5
	Bt	G <sub>6</sub>	0,003 g/L (0,002-0,006)*	1,17 ±0,19	1,0	3	3,0
<b>D-Delta</b>	Deltametrina	G <sub>6</sub>	156,42 (107,23-228,43)*	1,56 ±0,07	1,39	4	15,0
	Abamectina	G <sub>6</sub>	0,008 (0,004-0,01)	1,11 ±0,18	1,42	4	1,6
	Indoxacarb	G <sub>6</sub>	0,08 (0,05-0,11)	2,02 ±0,27	1,57	4	2,3
	Bt	G <sub>6</sub>	0,003 g/L (0,002-0,006)	1,01 ±0,18	0,8	3	3,0
<b>D-Bt</b>	Deltametrina	G <sub>6</sub>	73,93 (48,42-110,23)*	1,27 ±0,15	2,24	4	7,0
	Abamectina	G <sub>6</sub>	0,009 (0,005-0,012)	1,72 ±0,24	1,47	4	1,8
	Indoxacarb	G <sub>6</sub>	0,07 (0,04-0,1)*	1,52 ±0,20	0,87	4	1,8
	Bt	G <sub>6</sub>	0,008 g/L (0,005-0,012)	1,49 ±0,26	1,80	3	8,0
<b>D-Rotação</b>	Deltametrina	G <sub>6</sub>	59,31 (40,21-86,44)	1,47 ±0,18	1,29	4	5,5
	Abamectina	G <sub>6</sub>	0,01 (0,006-0,01)	1,75 ±0,25	3,81	4	2,0
	Indoxacarb	G <sub>6</sub>	0,07 (0,04-0,09)	1,79 ±0,24	1,95	4	1,8
	Bt	G <sub>6</sub>	0,003 g/L (0,002-0,005)*	1,43 ±0,22	0,51	3	3,0
<b>Waite (suscetível)</b>	Deltametrina	G <sub>&gt;200</sub>	10,68 (4,12-42,99)	1,20 ±0,08	7,81	4	
	Abamectina	G <sub>&gt;200</sub>	0,005 (0,004-0,007)	2,24 ±0,34	5,98	4	
	Indoxacarb	G <sub>&gt;200</sub>	0,04 (0,03-0,06)	1,47 ±0,20	1,74	4	
	Bt	G <sub>&gt;200</sub>	0,001 g/L (0,0003-0,0008)	0,83 ±0,17	1,01	3	
<b>Q (suscetível)</b>	Deltametrina	G <sub>&gt;200</sub>	13,49 (5,19-74,34)	2,67 ±0,69	7,27	4	
	Abamectina	G <sub>&gt;200</sub>	0,005 (0,003-0,007)	1,87 ±0,29	1,84	4	
	Indoxacarb	G <sub>&gt;200</sub>	0,04 (0,09-0,11)	1,44 ±0,30	6,71	4	
	Bt	G <sub>&gt;200</sub>	0,002 g/L (0,001-0,004)	0,90 ±0,17	0,86	3	

Fonte: Elaborada pelo autor. <sup>a</sup>GL= grau de liberdade; <sup>b</sup>RR= Razão de resistência (CL<sub>50</sub> da população resistente/CL<sub>50</sub> da população suscetível de referência). CL<sub>50</sub> marcada com \* diferem da população “Waite” quando comparadas pelo Intervalo de Confiança (IC 95%). A população Waite foi considerada padrão de suscetibilidade para o cálculo de RR.

Tabela 4. Porcentagem média ( $\pm$ erro padrão) de viabilidade de ovos e sobrevivência larval de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina

População	Viabilidade de ovos (%) <sup>ns</sup>		Sobrevivência larval (%) <sup>ns</sup>	
	G <sub>3</sub>	G <sub>6</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>6</sub>
<b>Waite (suscetível)</b>	85,0 $\pm$ 5,7	88,6 $\pm$ 5,4	62,0 $\pm$ 8,4	70,9 $\pm$ 8,3
<b>Q (suscetível)</b>	86,6 $\pm$ 6,2	88,1 $\pm$ 5,0	65,4 $\pm$ 9,5	75,6 $\pm$ 7,2
<b>D-Control</b>	84,4 $\pm$ 6,5	81,2 $\pm$ 6,5	63,0 $\pm$ 9,2	68,9 $\pm$ 8,7
<b>D-Delta</b>	84,1 $\pm$ 5,5	72,0 $\pm$ 6,4	49,0 $\pm$ 8,3	58,3 $\pm$ 8,3
<b>D-Bt</b>	80,0 $\pm$ 6,0	79,2 $\pm$ 6,0	61,0 $\pm$ 8,2	45,3 $\pm$ 9,0
<b>D-Rotação</b>	82,0 $\pm$ 5,4	85,7 $\pm$ 5,6	63,0 $\pm$ 7,1	60,0 $\pm$ 7,7

Fonte: Elaborada pelo autor. <sup>ns</sup>Médias não diferem entre si, pelo teste F ( $p > 0,05$ ).

Table 5. Médias ( $\pm$  erro padrão) de duração (dias) dos ovos, instares (L1-L4) e pupas de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina

População	Tempo de desenvolvimento ( $\pm$ EP) dias*						
	Ovo	L1	L2	L3	L4	Total larval	Pupa
<b>Waite (suscetível) (G<sub>3</sub>)</b>	5,37 $\pm$ 0,11 A	1,93 $\pm$ 0,08	2,0 $\pm$ 0,08	1,54 $\pm$ 0,10	2,47 $\pm$ 0,11	8,85 $\pm$ 0,13 A	5,01 $\pm$ 0,12 B
<b>Q (suscetível) (G<sub>3</sub>)</b>	5,17 $\pm$ 0,06 A	1,84 $\pm$ 0,07	1,81 $\pm$ 0,08	1,88 $\pm$ 0,07	3,11 $\pm$ 0,08	8,70 $\pm$ 0,01 A	4,29 $\pm$ 0,01 A
<b>D-Controle (G<sub>3</sub>)</b>	4,82 $\pm$ 0,09 B	2,00 $\pm$ 0,00	2,1 $\pm$ 0,05	1,82 $\pm$ 0,09	3,12 $\pm$ 0,08	9,00 $\pm$ 0,09 A	4,35 $\pm$ 0,11 A
<b>D-Delta (G<sub>3</sub>)</b>	5,06 $\pm$ 0,06 B	1,75 $\pm$ 0,10	1,73 $\pm$ 0,08	1,65 $\pm$ 0,13	2,58 $\pm$ 0,15	7,75 $\pm$ 0,11 B	5,43 $\pm$ 0,12 B
<b>D-Bt (G<sub>3</sub>)</b>	4,83 $\pm$ 0,03 B	1,97 $\pm$ 0,02	1,88 $\pm$ 0,11	1,88 $\pm$ 0,12	2,36 $\pm$ 0,10	8,04 $\pm$ 0,14 B	4,54 $\pm$ 0,15 A
<b>D-Rotação(G<sub>3</sub>)</b>	5,04 $\pm$ 0,06 B	2,00 $\pm$ 0,00	2,05 $\pm$ 0,08	1,53 $\pm$ 0,08	2,50 $\pm$ 0,10	7,86 $\pm$ 0,08 B	4,17 $\pm$ 0,10 A
<b>Waite (suscetível) (G<sub>6</sub>)</b>	4,23 $\pm$ 0,07 A	1,81 $\pm$ 0,04	1,78 $\pm$ 0,05	1,73 $\pm$ 0,07	2,75 $\pm$ 0,05	8,27 $\pm$ 0,15 A	4,52 $\pm$ 0,10 A
<b>Q (suscetível) (G<sub>6</sub>)</b>	4,30 $\pm$ 0,06 A	1,95 $\pm$ 0,02	1,70 $\pm$ 0,06	1,68 $\pm$ 0,07	2,75 $\pm$ 0,08	8,38 $\pm$ 0,17 A	4,50 $\pm$ 0,11 A
<b>D- Controle (G<sub>6</sub>)</b>	3,42 $\pm$ 0,08 B	1,67 $\pm$ 0,05	1,57 $\pm$ 0,05	1,70 $\pm$ 0,07	2,80 $\pm$ 0,07	7,85 $\pm$ 0,11 B	4,45 $\pm$ 0,10 A
<b>D-Delta (G<sub>6</sub>)</b>	3,27 $\pm$ 0,07 B	1,60 $\pm$ 0,07	1,53 $\pm$ 0,07	1,41 $\pm$ 0,05	2,81 $\pm$ 0,09	7,33 $\pm$ 0,13 C	4,28 $\pm$ 0,11 A
<b>D-Bt (G<sub>6</sub>)</b>	3,85 $\pm$ 0,05 B	1,65 $\pm$ 0,06	1,61 $\pm$ 0,06	1,47 $\pm$ 0,07	2,90 $\pm$ 0,07	7,78 $\pm$ 0,12 B	4,05 $\pm$ 0,10 A
<b>D-Rotação (G<sub>6</sub>)</b>	3,46 $\pm$ 0,09 B	1,52 $\pm$ 0,09	1,70 $\pm$ 0,05	1,55 $\pm$ 0,09	2,86 $\pm$ 0,12	7,83 $\pm$ 0,11 B	4,22 $\pm$ 0,08 A

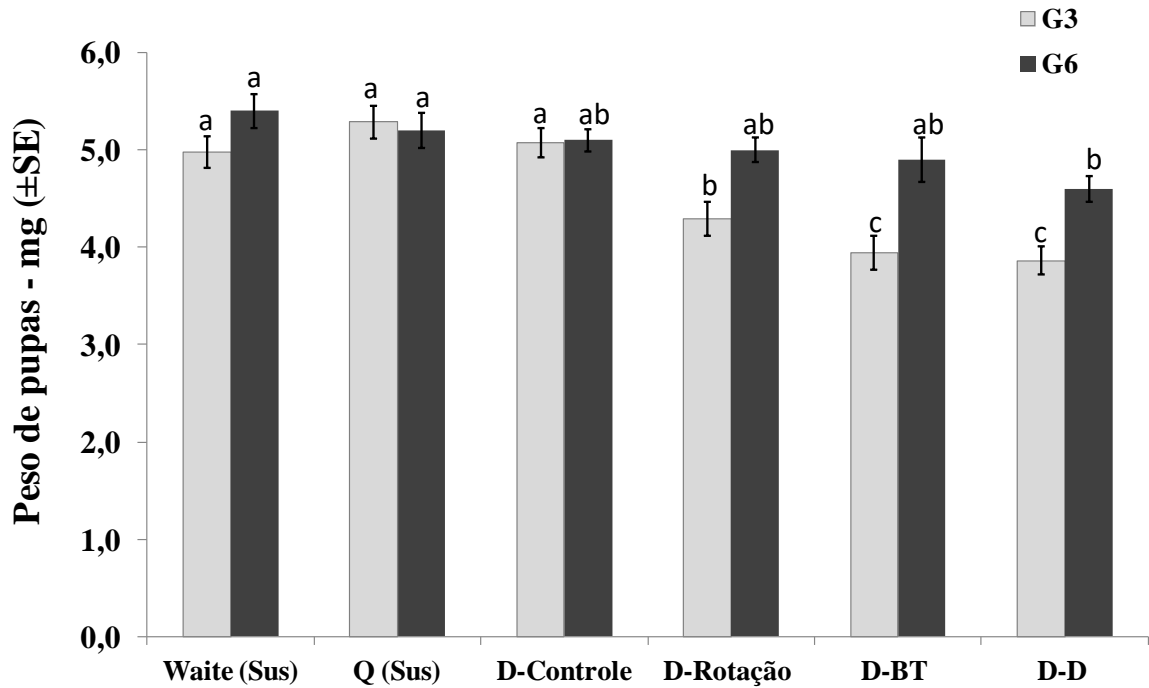
Fonte: Elaborada pelo autor. \*Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 6. Média ( $\pm$ erro padrão) de duração (dias) do ciclo total (ovo-pupa) de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (*Bt*) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina

População	Geração	
	G <sub>3</sub>	G <sub>6</sub>
Waite (suscetível)	18,45 $\pm$ 0,24 A	16,9 $\pm$ 0,19 A
Q (suscetível)	18,17 $\pm$ 0,16 A	16,7 $\pm$ 0,15 A
D-Control	18,05 $\pm$ 0,17 A	15,48 $\pm$ 0,22 B
D-Delta	18,25 $\pm$ 0,26 A	14,71 $\pm$ 0,18 B
D-Bt	17,54 $\pm$ 0,25 B	15,20 $\pm$ 0,21 B
D-Rotação	17,08 $\pm$ 0,21 B	15,37 $\pm$ 0,25 B

Fonte: Elaborada pelo autor. Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 1. Médias ( $\pm$  erro padrão) de peso de pupas (mg) de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) oriundas de seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (*Bt*) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina



Fonte: Elaborada pelo autor. Colunas claras e escuras, marcadas com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 7. Média ( $\pm$ erro padrão) de longevidade de fêmeas e de machos, razão sexual e número de ovos por fêmea de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina

População	Longevidade de fêmeas (dias)	Longevidade de machos (dias)	Razão sexual	Número de ovos/fêmea
<b>Q – suscetível</b>	12,00 $\pm$ 0,26 A [13]	17,00 $\pm$ 0,50 A [14]	0,47 $\pm$ 0,09 A	258,25 $\pm$ 15,62 A [10]
<b>D-Controle</b>	11,81 $\pm$ 0,29 A [10]	16,71 $\pm$ 0,55 A [10]	0,50 $\pm$ 0,11 A	-
<b>D-Delta</b>	10,30 $\pm$ 0,67 B [10]	14,82 $\pm$ 0,40 B [11]	0,47 $\pm$ 0,11 A	219,72 $\pm$ 7,91 A [10]
<b>D-Bt</b>	9,80 $\pm$ 0,65 B [10]	14,19 $\pm$ 0,41 B [9]	0,52 $\pm$ 0,08 A	217,81 $\pm$ 16,14 A [9]
<b>D-Rotação</b>	11,21 $\pm$ 0,50 A [11]	14,33 $\pm$ 0,39 B [7]	0,61 $\pm$ 0,12 A	223,44 $\pm$ 11,52 A [7]

Fonte: Elaborada pelo autor. [n] número de observações; Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 8. Parâmetros de tabela de vida de fertilidade [média  $\pm$  erro padrão (IC95%)] - intervalo de tempo entre cada geração (T), taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), capacidade inata de aumentar em número ( $r_m$ ), razão finita de aumento ( $\lambda$ ) e o tempo necessário para a população duplicar em número de indivíduos (TD) - de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: deltametrina e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (*Bt*) aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina

População	$R_0$ (♀)	$r_m$ (♀/♀/dia)	$\lambda$ (indivíduo/ ♀ / dia)	T (dias)	TD	Rf
<b>Q (suscetível)</b>	81,71 $\pm$ 4,79 A (72,2-90,1)	0,19 $\pm$ 0,003 A (0,19-0,20)	1,22 $\pm$ 0,004 A (1,21-1,23)	22,02 $\pm$ 0,16 A (21,7-22,3)	3,48 $\pm$ 0,06 A (3,37-3,60)	-
<b>D-Delta</b>	42,70 $\pm$ 1,60 B (39,8-45,5)	0,19 $\pm$ 0,002 A (0,19-0,20)	1,21 $\pm$ 0,002 A (1,21-1,22)	19,98 $\pm$ 0,10 B (18,8-19,2)	3,51 $\pm$ 0,04 A (3,45-3,58)	0,52
<b>D-Bt</b>	40,11 $\pm$ 2,91 B (35,1-44,9)	0,18 $\pm$ 0,006 A (1,17-0,19)	1,20 $\pm$ 0,008 A (1,19-1,22)	19,52 $\pm$ 0,33 B (18,9-20,1)	3,70 $\pm$ 0,13 A (3,48-3,92)	0,50
<b>D-Rotação</b>	73,63 $\pm$ 3,87 A (67,8-79,4)	0,22 $\pm$ 0,004 B (0,22-0,23)	1,25 $\pm$ 0,006 B (1,24-1,26)	18,93 $\pm$ 0,18 B (18,6-19,2)	3,06 $\pm$ 0,06 B (2,96-3,14)	0,90

Fonte: Elaborada pelo autor.  $Rf_a$  = Aptidão relativa ( $R_0$  da população resistente/ $R_0$  da população suscetível). Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade;  $R_0 = \Sigma(lx.mx)$  número de descendentes por fêmea por geração, quando  $lx$  = proporção de fêmeas acasaladas na idade  $x$  e  $mx$  = ovos produzidos pela fêmea na idade  $x$  pela razão;  $T = \Sigma(x.lx.mx)/\Sigma(lx.mx)$ ;  $r_m = \ln.R_0/T$ ;  $\lambda = e^{r_m}$  e  $TD = \ln(2)/r_m$ .



## 4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos fornecem evidências de que a aplicação sucessiva de deltametrina e *Bt* resulta na manutenção e aumento da frequência de resistência. A resistência a inseticidas ocorre por meio de mutações conferindo a substituição de alelos (THOMAZONI, 2012) e a pressão de seleção promove a variação genotípica na população inicial e aumento da presença desse genótipo resistente (GEORGHIOU, 1972; ROUSH e McKENZIE, 1987). Em contraste, a exposição em alternância dos inseticidas abamectina, *Bt* e indoxacarb demonstram a redução na frequência de indivíduos resistentes e aumento da suscetibilidade da população. O uso do controle químico por meio da aplicação de inseticidas com diferentes modos de ação de forma alternada favorece o aumento da frequência de indivíduos com alelos suscetíveis a uma determinada molécula química permitindo o acasalamento entre si (SUDO *et al.*, 2017) e, conseqüentemente, a frequência de indivíduos resistentes a este inseticida tende a declinar nas gerações subsequentes.

A diferença da concentração-resposta da população mantida sobre pressão de seleção a deltametrina denota que a frequência de indivíduos resistentes aumentou lentamente em comparação à exposição ao *Bt*. Na G<sub>3</sub> e G<sub>4</sub> as lagartas oriundas da população D-Delta foram expostas ao dobro da concentração inicial e isto sugere que a alta dosagem pode ter influenciado a evolução da resistência. Dentro do MRI, a proposta de manejo por saturação por meio do uso de altas dosagens do produto visa reduzir o valor adaptativo dos indivíduos resistentes e, conseqüentemente, aumento na produção de progênie suscetível (ROUSH e DALY, 1990; CRUZ, 2002) mas abre-se a possibilidade de não ser efetivo para todas as pragas e inseticidas utilizados.

Os resultados são consistentes com relação ao declínio da resistência quando a população inicial foi mantida na ausência de deltametrina pois ao que tudo indica, os alelos responsáveis por conferir a resistência parecem ser instáveis. A estabilidade da resistência é afetada por aspectos genéticos, pelos mecanismos envolvidos e pelos custos associados à resistência (RILEY e SPARKS, 2006). Neste caso, a instabilidade pode ser atribuída ao custo associado ao fenótipo de resistência. Populações de *P. xylostella* resistentes a deltametrina, indoxacarb e espinosade reverteram rapidamente a resistência na ausência do inseticida e, essa redução foi fortemente associada ao aumento da aptidão biológica (SAYYED *et al.*, 2005; SAYYED e WRIGHT 2006; SAYYED *et al.*, 2008). Em *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera: Tortricidae), a resistência a clorantraniliprole e espinetoram foi revertida em apenas cinco e seis gerações, respectivamente (SIAL e BRUNNER, 2012)

ressaltando a rápida reversão na ausência do inseticida. Os alelos que conferem resistência tornam-se raros em populações na ausência de pressão de seleção quando associados a efeitos negativos sobre a aptidão biológica das pragas (HOFFMANN e PARSONS, 1991, HOLLINGSWORTH *et al.* 1997; SAYYED e WRIGHT, 2006).

A resistência de *P. xylostella* à *Bt* em campo, está descrita desde a década de 1980, e foram ratificados neste estudo. A traça-das-crucíferas foi a primeira espécie-praga a desenvolver resistência de campo aos inseticidas à base de *Bt* (KIRSCH e SCHMUTTERER, 1988; TALEKAR e SHELTON, 1993; APRD, 2018) e a partir de então, os relatos foram aumentando (FERRÉ e VAN RIE, 2002; CASTELO BRANCO *et al.*, 2003; TABASHNIK *et al.*, 2009; BAXTER *et al.*, 2011; BORTOLI, 2018). O inseticida a base de *Bt* utilizado neste estudo foi *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* não ocorrendo alternância de proteínas. Por outro lado, no manejo de resistência de insetos à plantas *Bt* a piramidação de genes confere proteção contra as pragas-alvo e tem apresentado resultados significativos no retardo da evolução de resistência ao reduzir as chances do inseto possuir diferentes mecanismos de resistência para as diferentes proteínas (HEAD e GREENPLATE, 2012). Baseados nessas informações, a aplicação de diferentes proteínas presentes nos produtos formulados a base de *Bt* ao longo do ciclo da cultura deve ser investigado na mitigação da evolução da resistência à tecnologia, mantendo sua eficiência a longo prazo.

A resistência cruzada avaliada nas populações mantidas sobre exposição sucessiva a deltametrina e *Bt* com os demais inseticidas não foi observada. Alguns estudos demonstram a ausência de resistência cruzada entre piretróides (nesse caso, deltametrina) e indoxacarb no controle de *P. xylostella* (SAYYED *et al.*, 2005; YU e MCCORD, 2007) e *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (Razaq *et al.* 2007). A possibilidade de resistência cruzada entre esses dois inseticidas (deltametrina e indoxacarb) seria esperada pois ambos apresentam como um dos mecanismos de resistência, o aumento da atividade de esterases (SAYYED e WRIGHT, 2006; BALASUBRAMANI *et al.*, 2008; NEHARE *et al.*, 2010). Porém, os mecanismos envolvidos na resistência a deltametrina são diversos e isto poderia conferir menor nível de resistência cruzada com indoxacarb (SCHULER *et al.*, 1998; BALASUBRAMANI *et al.*, 2008, ATUMURIRAVA, 2015). A resistência cruzada entre deltametrina e indoxacarb foi relatada em *P. xylostella* (ATUMURIRAVA, 2015) trabalhando com a mesma população testada neste estudo. Sabe-se que, por meio da deriva genética, populações mantidas em laboratório podem sofrer alterações associadas ao ‘controle genético’ resultando em efeitos de seleção nos genótipos existentes e perda, ao acaso, de material genético (BARTLETT, 1985). Isso explicaria a diferença encontrada nos resultados, uma vez

que, a execução dos ensaios do presente estudo iniciou com a população mantida a três anos no laboratório sobre pressão de seleção.

A ausência de resistência cruzada da população D-Bt com as demais moléculas valida o uso do inseticida biológico na rotação. O sítio de ação e os mecanismos mais comuns envolvidos na resistência são a redução da ligação da toxina às células do intestino médio (PARDO-LÓPEZ *et al.*, 2013) e são distintos aos demais inseticidas, sugerindo menor risco de resistência cruzada.

Embora a resistência seja vantagem e benefício para as pragas quando expostas sucessivamente aos inseticidas, sabe-se, por outro lado, que a resistência pode ter um custo associado. Os resultados observados para os parâmetros biológicos e populacionais demonstraram que a resistência à deltametrina e a pressão de seleção com *Bt* pode ter efeito desvantajoso sobre as características relacionadas à aptidão da população de *P. xylostella* avaliada, corroborando com relatos já descritos na literatura (SAYYED *et al.*, 2008; ATUMURIRAVA, 2015, LIU *et al.*, 2015).

As mutações que conferem resistência aos inseticidas podem promover custo adaptativo, pois uma quantidade dos recursos energéticos dos insetos é desviada para os mecanismos envolvidos na resistência (KONOPKA *et al.* 2012). Fatores relacionados com a resistência podem apresentar um ou mais efeitos pleiotrópicos nos parâmetros biológicos e as alterações podem ser consideradas manifestações do comprometimento fisiológico do inseto quando expostos ao inseticida (MARTINS *et al.*, 2012). Geralmente, os efeitos pleiotrópicos associados aos alelos de resistência podem refletir em alterações biológicas como taxa de sobrevivência, fecundidade e fertilidade, duração das fases de desenvolvimento e, conseqüentemente afetando a aptidão relativa (LIU *et al.*, 2008).

Redução no peso de pupas e na longevidade dos adultos foram constatadas neste estudo. O rápido desenvolvimento da fase larval pode ter ocasionado redução no acúmulo de massa corpórea e conseqüentemente influenciado no peso das pupas. O rápido desenvolvimento da fase larval reflete em curto espaço de tempo para crescer, originando indivíduos menores (ATKINS, 1994).

A massa (peso) das pupas é um bom indicador de fecundidade de insetos quando são criados nas mesmas condições (LEATHER, 1988) e, pupas menores e leves são menos fecundas, representando um significativo custo de aptidão (ATUMURIRAVA, 2015). Não foi verificado efeito direto na fecundidade, porém, relatos de falta de custos de “fitness” são frequentemente associados com experimentos realizados em temperatura favorável e em condições de nutrição adequada (SAYYED e WRIGHT, 2001). Sabe-se que os custos

adaptativos são frequentemente dependentes das condições ambientais, sendo maior nos ambientes mais estressantes (LI *et al.*, 2007). Isto poderia explicar também a ausência de prolongamento da fase larval e menor tempo (T) de desenvolvimento, pois espera-se, de acordo com a literatura, que estes parâmetros sejam maiores quando *P. xylostella* apresenta resistência a deltametrina e indoxacarb (SAYYED *et al.*, 2008) e também à clorantraniliprole (RIBEIRO *et al.*, 2013, LIU *et al.*, 2015). Assim, maior exploração do efeito da temperatura poderia indicar o custo adaptativo de populações suscetíveis e resistentes.

Observando os resultados da tabela de fertilidade, a população suscetível pode gerar aproximadamente 82 fêmeas/fêmea em fase de reprodução ( $R_0$ ) em 22 dias. Em contraste, são esperadas nas populações D-Delta e D-Bt cerca de 43,0 e 40,1 fêmeas/fêmeas em 20 dias. A associação da redução do número de fêmeas e redução na longevidade dos adultos reduz o número de gerações que se sobrepõem. Isso pode ser considerado uma vantagem no MRI, pois populações de insetos com gerações não sobrepostas, tal como assincronia de desenvolvimento, poderia reduzir as chances de acasalamento dos insetos resistentes e retardar a evolução da resistência (PECK *et al.*, 1999). Esta interação provocaria então redução no potencial reprodutivo dessa espécie, uma vez que, poderia inclusive alterar o ritmo de crescimento da população, originando gerações com menos indivíduos resistentes. Populações de *P. xylostella* resistentes a *Bt* tiveram a resistência rapidamente revertida na ausência do inseticida e a perda da resistência foi associada ao aumento da aptidão biológica (TABASHNIK *et al.*, 1994).

As populações de *P. xylostella* investigadas foram coletadas em áreas comerciais localizadas no Pacífico. Assim, os resultados poderão auxiliar os agricultores desta região a manejar/adotar estratégias dentro MIP visando retardar a evolução da resistência reduzindo os severos danos ocasionados pela praga.

## 5 CONCLUSÕES

Exposições sucessivas a deltametrina e *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki* tendem a selecionar e aumentar a frequência de indivíduos de *P. xylostella* resistentes.

A resistência média de *P. xylostella* à deltametrina pode ser reduzida por meio de aplicações rotacionadas de abamectina, *Bt* e indoxacarb e, a ausência de aplicações de deltametrina aumentam a suscetibilidade da população em curto prazo.

Ocorrem alterações biológicas associadas à resistência de *P. xylostella* à deltametrina e mantida sobre pressão de seleção à *Bt*.

### 3 SUSCETIBILIDADE E MANEJO DE RESISTÊNCIA A INSETICIDAS EM POPULAÇÕES DE *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) COLETADAS NA SERRA DA IBIAPABA, CEARÁ, BRASIL

#### RESUMO

O efetivo controle de artrópodes-praga depende da susceptibilidade da população à técnica a ser utilizada e, no caso do controle químico, conhecer essa susceptibilidade é fundamental para escolha do ingrediente ativo. Objetivou-se avaliar o nível de susceptibilidade de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) coletadas na região da Serra da Ibiapaba-CE à alguns inseticidas para propor um plano de aplicações alternadas. Três populações de *P. xylostella* foram coletadas em áreas comerciais de repolho e couve-manteiga (TIAN, UBAJ-1 e UBAJ-2). Foram realizados ensaios de concentração-resposta em cada população para cada inseticida, sendo a população com maior resistência a deltametrina selecionada para os ensaios subsequentes. Foram avaliadas quatro gerações e em cada uma das avaliações foram expostas, no mínimo, 250 lagartas/tratamento, sendo: aplicação sucessiva de deltametrina (D-Delta) (G<sub>2</sub> à G<sub>5</sub>); aplicação sucessiva de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Eubacteriales: Bacillaceae) *Bt* (D-*Bt*) (G<sub>2</sub> à G<sub>5</sub>); aplicação sucessiva de clorraniliprole (D-Cl) (G<sub>2</sub> à G<sub>5</sub>); aplicação sucessiva de metaflumizona (D-Met) (G<sub>2</sub> à G<sub>5</sub>); alternância de três inseticidas [(D-Rotação<sub>1</sub>) - G<sub>2</sub>= exposição a clorraniliprole, G<sub>3</sub>= a *Bt*, G<sub>4</sub>= a metaflumizona e G<sub>5</sub>= a clorraniliprole]; alternância de dois inseticidas [(D-Rotação<sub>2</sub>) - G<sub>2</sub>= exposição a clorraniliprole, G<sub>3</sub>= a *Bt*, G<sub>4</sub>= a clorraniliprole e G<sub>5</sub>= a *Bt*] e mantidas ao longo de quatro gerações (G<sub>2</sub> à G<sub>5</sub>) na ausência de inseticidas (D-Controle). Em todos os tratamentos, os sobreviventes após três-quatro dias da aplicação foram utilizados para a formação da nova população. A frequência de resistência foi estimada com base na sobrevivência (%) das lagartas tratadas com cada inseticida em cada geração. Todas as populações testadas apresentaram resistência média a deltametrina. As populações não apresentaram resistência a clorraniliprole, à *Bt* e à metaflumizona. Constatou-se aumento da frequência de resistência quando as populações de *P. xylostella* foram expostas sucessivamente à deltametrina, clorraniliprole, metaflumizona e *Bt*. As aplicações alternadas reduziram significativamente a frequência de resistência ao longo das gerações.

**Palavras-chave:** Traça-das-crucíferas. Controle químico. Toxicidade. Linha-básica de susceptibilidade.

## ABSTRACT

The effective control of pest arthropods depends on the susceptibility of the population to the specific technique to be used and, in the case of chemical control, knowing this susceptibility is fundamental for choosing the active ingredient to be used. The objective of this study was to evaluate the level of susceptibility of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) populations collected in the region of the Ibiapaba-CE mountain range to deltamethrin, *Bacillus thuringiensis* Berliner (Eubacteriales: Bacillaceae), chlorantraniliprole and metaflumizone to propose a plan through alternating applications of insecticides. Three populations were collected in commercial areas of cabbage and kale (TIAN, UBAJ-1 and UBAJ-2). Concentration-response assays were performed in each population for each insecticide. The population with the greatest resistance to deltamethrin was selected for subsequent trials. Four generations were evaluated and at least 250 larvae/treatment were exposed in each of the evaluations: successive application of deltamethrin (D-Delta) (G<sub>2</sub> to G<sub>5</sub>); successive application of Bt (D-Bt) (G<sub>2</sub> to G<sub>5</sub>); successive application of chlorantraniliprole (D-CL) (G<sub>2</sub> to G<sub>5</sub>); successive application of metaflumizone (D-MET) (G<sub>2</sub> to G<sub>5</sub>); alternation of three insecticides [(D-Rotation1) - G<sub>2</sub>= exposure to chlorantraniliprole, G<sub>3</sub>= exposure to Bt, G<sub>4</sub>= exposure to metaflumizone and G<sub>5</sub>= exposure to chlorantraniliprole]; alternation of two insecticides [(D-Rotation2) - G<sub>2</sub>= exposure to chlorantraniliprole, G<sub>3</sub>= exposure to Bt, G<sub>4</sub>= exposure to chlorantraniliprole and G<sub>5</sub>= exposure to Bt] and maintained over four generations (G<sub>2</sub> to G<sub>5</sub>) in the absence of insecticides (D-Control). In all treatments, survivors after three-four days of application were used for the formation of the new population. The resistance frequency was estimated based on the survival percentage of the larvae treated with each insecticide in each generation. All populations tested showed average resistance to deltamethrin. The populations showed no resistance to chlorantraniliprole, *Bt* and metaflumizone. Increased resistance frequency was observed when populations of *P. xylostella* were exposed successively to deltamethrin, chlorantraniliprole, metaflumizone and *Bt*. Alternating applications have significantly reduced the frequency of resistance over generations.

**Keywords:** Diamondback moth. Chemical control. Toxicity. Baseline susceptibility.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso intensivo e constante de inseticidas visando o controle de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), praga mais destrutiva das Brassicaceae no Brasil e no mundo (LIANG *et al.*, 2003, SARFRAZ e KEDDIE, 2005; ZALUCKI *et al.* 2012), tem permitido a seleção de alelos de resistência e, conseqüentemente, aumento na frequência desses indivíduos em campo (STEINBACH *et al.*, 2017). No Artropod Pesticide Resistance Database - APRD, estão descritos 95 compostos para os quais a resistência em *P. xylostella* foi descrita em pelo menos uma população (APRD, 2019).

O desenvolvimento da resistência em insetos-praga em populações naturais tem levado a busca da síntese de novas moléculas e formulações mais seguras como, por exemplo, metaflumizone que pertencente ao grupo químico semicarbazone, com atividade no controle de várias espécies de lepidópteros e registrado no Brasil para *P. xylostella* (AGROFIT, 2019). Porém, assim como para os inseticidas já comercializados, existe a preocupação de que a resistência seja um risco por inviabilizar a eficiência/eficácia das moléculas inseticidas, se os mesmos forem usados indiscriminadamente (MURRAY *et al.*, 2005) e sem informações dos possíveis impactos.

O conhecimento do comportamento das populações diante de sucessivas aplicações de inseticidas é de suma importância, pois reduz a chance de aplicações errôneas resultando em manejo mal implementado e sucedido. Trabalhos de análise de risco de resistência dos inseticidas utilizados para o controle de *P. xylostella* merecem atenção, tanto para moléculas já registradas como para os novos produtos, devido aos custos e dificuldades para o desenvolvimento das mesmas e necessidade de preservar a vida útil das moléculas.

A disseminação de um alelo que confere resistência pode ser evitada por meio de estratégias apropriadas de gerenciamento de resistência (CARRIERE *et al.*, 2004) e mediante o estabelecimento da linha-base de suscetibilidade entre populações de uma área geográfica. Se a frequência de resistência de uma população com custo adaptativo a um determinado produto é reduzida sob a ausência deste, uma gestão por meio de táticas de alternância de moléculas químicas torna-se viável.

No Nordeste brasileiro, a resistência de *P. xylostella* já foi relatada a inseticidas pertencentes ao grupo químico dos piretróides, organofosforados, avermectinas (CASTELO BRANCO *et al.*, 1997; OLIVEIRA *et al.*, 2011), diamidas (RIBEIRO *et al.* 2013) e *Bacillus thuringiensis* Berliner (Eubacteriales: Bacillaceae) (ZAGO *et al.*, 2014). Em regiões produtoras de brassicáceas, como a Serra da Ibiapaba, Estado do Ceará (GOMES, 2015), a

utilização quase que exclusiva de inseticidas piretróides e diamidas tornou-se a base do manejo visando o controle dessa praga. Contudo, essa prática tem gerado falhas no controle e prejuízos significativos para os produtores, onde a produção de brassicáceas representa um grupo de culturas com rentabilidade para a agricultura familiar. Dessa forma, informações de alterações nas suscetibilidades locais e regionais das respostas à pressão de seleção podem auxiliar e fornecer uma base na tomada de decisão, reduzindo as chances de aplicações e manejo mal sucedidos.

Nesse sentido, objetivou-se avaliar o nível de suscetibilidade à deltametrina, *B. thuringiensis*, clorantraniliprole e metaflumizona em populações de *P. xylostella* provenientes da região da Serra da Ibiapaba-CE e, avaliar um plano de gestão/manejo por meio de aplicações alternadas de inseticidas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará.

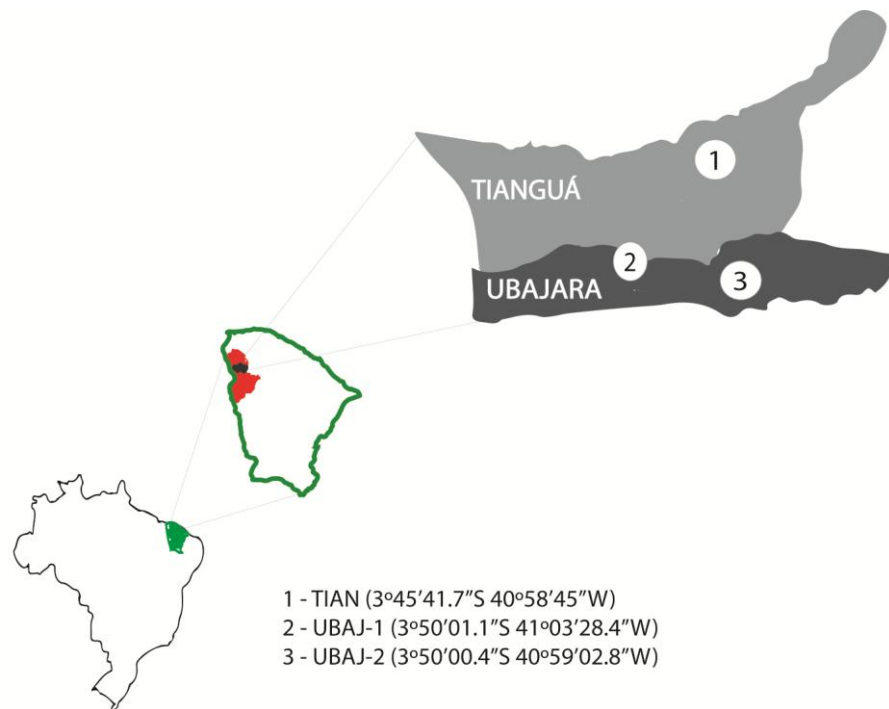
### 2.1 Populações e inseticidas

Três populações foram coletadas em áreas comerciais de repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) e couve-manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala*) localizadas na Serra da Ibiapaba, Estado do Ceará, distante 320 Km da capital Fortaleza. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo 'Aw', trata-se de clima quente e úmido com chuvas de verão e precipitação máxima de outono, possuindo temperatura média anual 25°C e precipitação média anual de 1273 mm (ALVARES *et al.*, 2013). Cerca de 250 lagartas, de cada população, foram coletadas e transportadas em caixas de isopor para o LEA. No laboratório as populações foram mantidas individualizadas para posteriores bioensaios de suscetibilidade. A população suscetível foi coletada em área de cultivo orgânico e mantida por um ano sem exposição à qualquer inseticida no LEA (UFC).

Foram utilizados os inseticidas: Decis [deltametrina - 25 g i.a/L EC (grupo dos piretróides)], Premio [clorantraniliprole - 200 g i.a/L EC (grupo da diamida antranílica)]; Alverde [metaflumizona - 240 g i.a./L EC (grupo químico dos semicarbazones)] e *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* [inseticida biológico].



Figura 2. Localização da Serra da Ibiapaba, Noroeste do Estado do Ceará, Brasil, onde as populações de *P. xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) foram coletadas. Fonte: Autor (2019)



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 2.2 Concentração-resposta a inseticidas de populações de *P. xylostella* coletadas em campo

A concentração-resposta de mortalidade de *P. xylostella* aos inseticidas deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e *Bt* foram analisados usando o método de imersão foliar [FURLONG, 1993; ENDERSBY *et al.*, 2008 modificado por Atumurirava (2015)]. Cada inseticida e suas respectivas concentrações (Tabela 9) foram diluídas em água destilada com adição do surfactante Tween 80 (0,03%). Na testemunha foi utilizada água destilada mais o Tween 80 (0,03%).

Tabela 9. Inseticidas e concentrações utilizadas no experimento

Inseticidas	Concentrações (ppm)
Deltametrina	10; 30; 60; 200; 800 e 1600
Clorantraniliprole	0,005; 0,05; 0,15; 2; 10 e 30
Metaflumizona	5; 10; 30; 100; 450 e 800
<i>Bacillus thuringiensis</i>	0,015; 0,096; 1; 2; 10 e 40

Fonte: Elaborada pelo autor.

O ensaio foi realizado utilizando-se discos foliares (4,8 cm de diâmetro) retirados de folhas de couve-chinesa *Brassica rapa* var. *chinensis*. Quatro discos cortados foram imersos

em cada solução inseticida por 10 segundos. Após a imersão e espera de 10 segundos para o escoamento, os discos foram colocados, com a face abaxial para cima, em folha de alumínio corrugado para secagem por 1 h. Transcorrido o período de secagem, os discos foliares tratados foram colocados individualmente em placas de Petri (5,0 cm de diâmetro) forradas com papel filtro sendo 10 lagartas de 3º instar transferidas para cada placa.

As placas de Petri foram acondicionadas em câmaras climatizadas sob condições controladas ( $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , UR 75% e fotofase 12 h) e, 48 h após a exposição das lagartas aos inseticidas, os discos foliares tratados foram removidos e substituídos por discos foliares de folhas de couve chinesa frescos e não tratados com inseticidas.

A avaliação da mortalidade foi realizada após 72 h para os inseticidas Deltametrina, Indoxacarb e Abamecina, e após 96 h para *Bt*. Os indivíduos foram considerados mortos quando não apresentaram movimento aparente após serem tocados com um pincel de pelos finos.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis concentrações para cada inseticida (Tabela 1), com quatro repetições, sendo cada uma representada por um disco foliar de couve-chinesa com 10 lagartas por concentração.

A partir da determinação da concentração-resposta realizada com as populações foi selecionada a população com maior razão de resistência (RR) para os bioensaios subsequentes.

### 2.3 Seleção artificial: exposição sucessiva e alternada de inseticidas

Na  $G_1$  da população selecionada no item 2.2 foi estabelecida a curva de concentração-resposta para cada inseticida conforme o método descrito no item 2.2. As concentrações estabelecidas para manutenção da pressão de seleção e aplicações em alternância foram as  $CL_{50} = 174$  ppm de Deltametrina,  $CL_{60} = 0,7$  ppm de Clorantraniliprole,  $CL_{60} = 200$  ppm de Metafluzimona e  $CL_{60} = 0,07$  ppm de *Bt*.

A partir do estabelecimento das  $CL$ 's, a população inicial considerada resistente a deltametrina foi dividida em sete subpopulações que constituíram os tratamentos: 1) aplicação sucessiva de Deltametrina (D-Delta) ao longo de quatro gerações ( $G_2$  à  $G_5$ ); 2) aplicação sucessiva de *Bt* (D-*Bt*) ao longo de quatro gerações ( $G_2$  à  $G_5$ ); 3) aplicação sucessiva de Clorantraniliprole (D-Cl) ao longo de quatro gerações ( $G_2$  à  $G_5$ ); 4) aplicação sucessiva de Metaflumizona (D-Met) ao longo de quatro gerações ( $G_2$  à  $G_5$ ); 5) alternância de três inseticidas [(D-Rotação<sub>1</sub>) -  $G_2 =$  exposição a Clorantraniliprole,  $G_3 =$  exposição a *Bt*,  $G_4 =$  exposição a Metaflumizona e  $G_5 =$  exposição a Clorantraniliprole]; 6) alternância de dois

inseticidas [(D-Rotação<sub>2</sub>) – G<sub>2</sub>= exposição a Clorantraniliprole, G<sub>3</sub>= exposição a *Bt*, G<sub>4</sub>= exposição a Clorantraniliprole e G<sub>5</sub>= exposição a *Bt*] e 7) mantidas ao longo de quatro gerações (G<sub>2</sub> à G<sub>5</sub>) na ausência de inseticidas (D-Controle).

Em cada geração amostras de no mínimo 250 lagartas foram expostas a cada inseticida e suas respectivas CL's. Quarenta e oito horas após a exposição, os discos foliares foram trocados por discos não-tratados com inseticidas conforme descrito anteriormente. Em cada ensaio de seleção e população (tratamento) foi avaliado uma sub-amostra de 50 lagartas (cinco placas de Petri). Cada placa foi examinada e a mortalidade registrada. Os sobreviventes de cada amostra foram utilizados para a formação da nova população, ou seja, das gerações seguintes.

Na G<sub>6</sub> foi estabelecida a curva de concentração-resposta com todos os inseticidas em todas as populações (D-Controle, D-Delta; D-Bt; D-Cl; D-Met; D-Rotação<sub>1</sub>, D-Rotação<sub>2</sub>) para verificação da suscetibilidade e obtenção da CL<sub>50</sub>. Foram testadas ainda a curva de concentração-resposta para a população considerada padrão de suscetibilidade (SUS).

A frequência de resistência foi estimada com base na porcentagem de sobrevivência das lagartas tratadas com cada inseticida ao longo das gerações.

### 2.3 Parâmetros biológicos de populações suscetíveis e resistentes de *P. xylostella*

Para a realização desta etapa, foram utilizadas a sub-população suscetível (SUS), a população D mantida na ausência de inseticidas (D-Controle), a exposta a deltametrina (D-Delta), a que foi exposta ao *Bt* (D-Bt) e aquela exposta aos inseticidas em sistema rotacionado (D-Rotação<sub>1</sub> e D-Rotação<sub>2</sub>).

Os adultos de *P. xylostella*, separados por cada sub-população, foram inseridos em gaiolas adaptadas (60,0 x 60,0 cm) contendo mudas de couve-chinesa com cinco folhas formadas, onde permaneceram por 15 horas incluindo o período noturno para oviposição. Na manhã do dia seguinte, as plantas foram removidas das gaiolas e, com auxílio de um marcador, localizou-se os ovos para inspeção e posterior isolamento. As folhas foram cuidadosamente inseridas em potes plásticos e estes mantidos em câmaras climatizadas (25 ± 2°C, UR 75 ± 10% e fotofase 12:12 h) por dois dias (coincidente com o período de incubação dos ovos). Após o período de incubação, o tecido da folha em torno de cada ovo foi cortado usando um bisturi e transferido individualmente para placas de Petri (5,0 cm de diâmetro) contendo papel filtro e uma pequena porção de folhas frescas de couve-chinesa, sendo novamente incubadas nas câmaras climatizadas. Foram obtidos 60 ovos das populações:

Suscetível (SUS); D-Controle; resistente a deltametrina (D-Delta), exposta a *Bt* (D-Bt) e; 50 ovos das populações expostas à rotação (D-Rotação<sub>1</sub> e D-Rotação<sub>2</sub>).

Cada placa de Petri foi avaliada a cada 24 h registrando-se a mortalidade em cada fase e a mudança de instar. Quando as larvas emergiram dos ovos, forneceu-se folhas frescas de couve-chinesa, conforme necessário. Ao atingir a fase de pupa, o papel filtro e qualquer material restante foi removido da placa de Petri. Os casulos que envolvem as pupas foram retirados com auxílio de pinça fina sendo as mesmas pesadas. As pupas foram mantidas nas mesmas condições controladas citadas anteriormente. No início da emergência das mariposas, as mesmas foram sexadas observando-se a parte ventral do inseto, no qual os machos apresentam uma mancha alongada e as fêmeas duas manchas circulares de coloração escura (VACARI, 2009).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e a sobrevivência larval, o ciclo ovo-pupa, o peso de pupas com até 48 h de idade, a razão sexual e, a longevidade de adultos (machos e fêmeas) foram os parâmetros avaliados.

#### 2.4 Análise de dados

Os dados de mortalidade para estimativa da concentração-reposta foram submetidos à análise de Probit por meio do programa SAS e posteriormente calculados os valores das concentrações letais (CL's) por meio software Statistical Analysis System (SAS 9.0). A razão de resistência (RR) foi calculada usando:  $CL_{50}$  da população resistente/ $CL_{50}$  da população suscetível de referência e a classificação do nível de resistência das populações aos inseticidas foi realizada de acordo com Shen e Wu (1995), onde considera-se como suscetível ( $RR < 3,0$ ), baixa resistência ( $RR = 3,1-5,0$ ), resistência moderada ( $RR = 5,1-10,0$ ), resistência média ( $RR = 10,1-40,0$ ); alta resistência ( $RR = 40,1-160$ ) e resistência extremamente alta ( $RR > 160,0$ ). A diferença entre as populações foi avaliada usando o Intervalo de Confiança (95% IC). Todos os dados dos parâmetros biológicos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando pertinente, foi realizada a comparação de médias pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Concentração-resposta, seleção artificial e aplicação em alternância de inseticidas

Todas as populações testadas apresentaram resistência média a deltametrina (Tabela 2). A razão de resistência (RR) foi de 13,25, 18,70 e 19,33 para as populações TIAN, UBAJ-1 e UBAJ-2, respectivamente, diferindo significativamente da população suscetível (Tabela 10).

Não foram verificadas diferenças significativas nas  $CL'_{s50}$  entre as populações coletadas quando expostas a deltametrina (Tabela 10).

As populações não apresentaram resistência a clorantraniliprole apresentando RR inferiores a 5,0 (Tabela 10). No entanto, foi observado diferença significativa nas  $CL'_{s50}$  das populações UBAJ-1 [0,12 ppm (0,07-0,20)] e UBAJ-2 [0,49 ppm (0,28-0,79)] (Tabela 10).

A RR de resistência variou entre 3,21 e 4,67 quando as populações foram expostas a metaflumizona, demonstrando ausência de resistência a este inseticida (Tabela 12). Observando os intervalos de confiança verificou-se diferença significativa das três populações em comparação com a população suscetível (Tabela 10). Similarmente, não foi constatado nível de resistência das populações ao inseticida *Bt* (Tabela 13). As  $CL'_{s50}$  obtidas das populações TIAN [0,04 ppm (0,03-0,07)] e UBAJ-2 [0,05 ppm (0,03-0,08)] diferiram das UBAJ-1 [0,03 ppm (0,02-0,04)] e suscetível [0,02 ppm (0,003-0,02)] (Tabela 10).

Quando a população UBAJ-2 foi exposta a deltametrina ao longo das quatro gerações, verificou-se aumento na sobrevivência larval de 36,0% (Tabela 11). Similarmente, a exposição contínua ao *Bt*, clorantraniliprole e metaflumizona proporcionou aumento de 41,0, 35,0 e 34,0%, respectivamente. A exposição desta mesma população aos produtos em alternância de três (D-Rotação<sub>1</sub>) e dois inseticidas (D-Rotação<sub>2</sub>) foi suficiente para causar redução de 36,0 e 21,0% na sobrevivência larval em apenas quatro gerações (Tabela 11).

As populações D-Controle, D-Bt, D-Rotação<sub>1</sub> e D-Rotação<sub>2</sub> quando expostas à deltametrina na  $G_6$  apresentaram redução da  $CL_{50}$  de 173,73 (127,83-228,31) ppm (RR= 19,0) para 73,68 (55,23-99,95) ppm (RR= 8,1), 71,40 (55,88-92,60) ppm (RR= 7,7), 80,53 (64,01-103,19) ppm (RR= 9,0), e 92,94 (72,34-121,63) ppm (RR= 10,2), respectivamente, quando comparada com os resultados obtidos na  $G_1$  (Tabela 12). Em contraste, a população D-Delta, mantida sobre pressão de seleção a deltametrina, apresentou aumento na  $CL_{50}$  de 173,73 (127,83-228,31) (RR= 19,0) para 331,81 (256,16-448,05) (RR= 35,7) (Tabela 12).

Quando a população foi mantida sobre pressão de seleção a *Bt* (D-Bt), houve aumento da  $CL_{50}$  de 0,05 (0,03-0,08) ppm (R= 2,5) para 0,50 (0,28-0,87) ppm (R=25,0) (Tabela 12).

Não foi constatada diferença significativa, quando comparadas pelo Intervalo de Confiança (95%), a  $CL_{50}$  da  $G_1$  da população D-Controle com as  $CL'_{s50}$  das populações D-Delta, D-Bt, D-Rotação<sub>1</sub> e D-Rotação<sub>2</sub> quando as mesmas foram expostas aos inseticidas metaflumizona e *Bt* na  $G_6$  (Tabela 12). Verificou-se ainda ausência de resistência cruzada entre os inseticidas (Tabela 12).

### 3.2 Parâmetros biológicos

A duração do período de incubação dos ovos das populações variou entre 3,0 e 3,21 dias constatando diferença significativa ( $p= 0,002$ ) em todas as sub-populações expostas aos inseticidas quando comparado com as populações suscetíveis (Tabela 13).

As lagartas e pupas oriundas das populações mantidas em constante contato com *Bt* e no sistema rotacionado apresentaram maior desenvolvimento ( $p\leq 0,05$ ), sendo 1,95 e 1,05 dias a mais que a população suscetível, respectivamente (Tabela 13).

Todas as populações apresentaram aumento na duração do ciclo total ( $p\leq 0,05$ ). Porém, constatou-se maior período de desenvolvimento das populações oriundas da exposição das lagartas a *Bt* (D-Bt) e a deltametrina (D-Delta), com acréscimo de 2,95 e 1,75 dias, respectivamente (Tabela 14).

O peso das pupas foi afetado apenas na população exposta ao inseticida deltametrina (D-Delta) ( $p\leq 0,05$ ), com redução de, aproximadamente, 0,0019 mg (Tabela 14).

Verificou-se redução na longevidade de fêmeas ( $p= 0,001$ ) e machos ( $p\leq 0,05$ ) oriundas de todas as sub-populações mantidas sobre pressão de seleção, sistema rotacionado e na ausência dos inseticidas (Tabela 15). A redução foi de 1,5, 1,7, 1,1, 1,0 e 1,55 dias das fêmeas oriundas das populações D-Controle, D-Delta, D-Bt, D-Rotação<sub>1</sub> e D-Rotação<sub>2</sub>, respectivamente. Enquanto que, machos provenientes das populações D-Controle, D-Delta, D-Bt, D-Rotação<sub>1</sub> e D-Rotação<sub>2</sub>, apresentaram redução na longevidade de 1,01, 3,83, 1,79, 1,6 e 2,2 dias, respectivamente, em comparação com a população suscetível. Não foi observada diferença significativa na viabilidade da fase larval ( $p= 0,07$ ) (Tabela 6) e razão sexual ( $p= 0,91$ ) (Tabela 15) das populações expostas aos inseticidas em todos os tratamentos quando comparada com a suscetível (Tabela 15).

Tabela 10. Suscetibilidade de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) coletadas na Serra da Ibiapaba, CE, Brasil, a inseticidas

População	Slope ( $\pm$ EP)	CL <sub>50</sub> [ppm] (95% IC)	$\chi^2$	GL <sup>a</sup>	RR
<b>Deltametrina</b>					
TIAN	2,34 $\pm$ 0,23	121,01 (92,95-155,77)*	82,92	5	13,25
UBAJ-1	2,26 $\pm$ 0,25	170,68 (129,65-219,32)*	76,90	4	18,70
UBAJ-2	2,01 $\pm$ 0,48	174,0 (127,83-228,31)*	7,19	4	19,33
Suscetível	2,37 $\pm$ 0,55	9,13 (4,45-13,05)	18,43	3	-
<b>Clorraniliprole</b>					
TIAN	0,69 $\pm$ 0,09	0,20 (0,08-0,41)	56,04	4	1,00
UBAJ-1	1,22 $\pm$ 0,16	0,12 (0,07-0,20)	58,32	4	0,60
UBAJ-2	1,29 $\pm$ 0,16	0,49 (0,28-0,79)	63,69	4	2,45
Suscetível	1,18 $\pm$ 0,29	0,20 (0,07-0,43)	26,09	4	-
<b>Metaflumizona</b>					
TIAN	1,48 $\pm$ 0,17	93,62 (64,98-137,28)*	73,62	4	3,21
UBAJ-1	1,17 $\pm$ 0,15	98,51 (66,13-146,28)*	59,83	4	3,37
UBAJ-2	1,97 $\pm$ 0,24	136,39 (98,71-188,18)*	66,08	4	4,67
Suscetível	1,60 $\pm$ 0,25	29,15 (15,71-36,72)	38,71	4	-
<b><i>Bacillus thuringiensis</i> (Berliner) (Bt)</b>					
TIAN	1,62 $\pm$ 0,20	0,04 (0,03-0,07)*	62,78	4	2,00
UBAJ-1	1,36 $\pm$ 0,17	0,03 (0,02-0,04)	63,49	3	1,50
UBAJ-2	1,08 $\pm$ 0,13	0,05 (0,03-0,08)*	64,12	4	2,50
Suscetível	1,24 $\pm$ 0,27	0,02 (0,003-0,02)	20,31	4	-

Fonte: Elaborada pelo autor. <sup>a</sup>GL= grau de liberdade; <sup>b</sup>RR= Razão de resistência (CL<sub>50</sub> da população resistente/ CL<sub>50</sub> da população suscetível de referência). CL<sub>50</sub> marcada com \* diferem da população suscetível quando comparadas pelo Intervalo de Confiança (IC 95%).

Tabela 11. Mortalidade induzida em amostras de sub-populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) provenientes da população “UBAJ-2” (coletada em Ubajara, CE) por meio de seleção no laboratório (gerações G<sub>2</sub> - G<sub>5</sub>) com os inseticidas deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (*Bt*) aplicados sucessivamente e/ou em rotação

População	Geração	n <sub>a</sub>	% sobrevivência	% de alteração na sobrevivência ao longo de três gerações
<b>D-Controle</b>	G <sub>2</sub>	50	95,0	-
	G <sub>3</sub>	50	97,0	-
	G <sub>4</sub>	50	98,0	-
	G <sub>5</sub>	50	94,0	-
<b>D-Delta</b>	G <sub>2</sub> (Deltametrina) - 174 ppm	50	36,0	-
	G <sub>3</sub> (Deltametrina) - 174 ppm	50	44	-
	G <sub>4</sub> (Deltametrina) - 174 ppm	50	58	-
	G <sub>5</sub> (Deltametrina) - 174 ppm	50	72	36,0
<b>D-Bt</b>	G <sub>2</sub> ( <i>Bt</i> ) - 0,07 ppm	50	37	-
	G <sub>3</sub> ( <i>Bt</i> ) - 0,07 ppm	50	56	-
	G <sub>4</sub> ( <i>Bt</i> ) - 0,07 ppm	50	61	-
	G <sub>5</sub> ( <i>Bt</i> ) - 0,07 ppm	50	78	41,0
<b>D-Cloran</b>	G <sub>2</sub> (Clorantraniliprole) - 0,7 ppm	50	41	-
	G <sub>3</sub> (Clorantraniliprole) - 0,7 ppm	50	44	-
	G <sub>4</sub> (Clorantraniliprole) - 0,7 ppm	50	63	-
	G <sub>5</sub> (Clorantraniliprole) - 0,7 ppm	50	76	35,0
<b>D-Met</b>	G <sub>2</sub> (Metaflumizona) - 200 ppm	50	34	-
	G <sub>3</sub> (Metaflumizona) - 200 ppm	50	42	-
	G <sub>4</sub> (Metaflumizona) - 200 ppm	50	57	-
	G <sub>5</sub> (Metaflumizona) - 200 ppm	50	68	34,0
<b>D-Rotação<sub>1</sub></b>	G <sub>2</sub> (Clorantraniliprole) - 0,7 ppm	50	41	-
	G <sub>3</sub> ( <i>Bt</i> ) - 0,07 ppm	50	39	-
	G <sub>4</sub> (Metaflumizona) - 200 ppm	50	35	-
	G <sub>5</sub> (Clorantraniliprole) - 0,7 ppm	50	26	-36,0
<b>D-Rotação<sub>2</sub></b>	G <sub>2</sub> (Clorantraniliprole) - 0,7 ppm	50	41	-
	G <sub>3</sub> ( <i>Bt</i> ) - 0,07 ppm	50	39	-
	G <sub>4</sub> (Clorantraniliprole) - 0,7 ppm	50	36	-
	G <sub>5</sub> ( <i>Bt</i> ) - 0,07 ppm	50	32	-21,0

Fonte: Elaborada pelo autor. <sup>a</sup>número de indivíduos amostrados na avaliação. Concentrações letais (CL<sub>50</sub>) obtidas na G<sub>0</sub> e utilizadas ao longo das gerações em todos os tratamentos.



Tabela 12. Concentração-mortalidade em populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (*Bt*) aplicados sucessivamente e/ou em rotação

População	Inseticida	Geração	CL50 [ppm](95% IC)	Slope ( $\pm$ ep)	$\chi^2$	GL <sup>a</sup>	RR <sup>b</sup>
<b>D-Controle</b>	Deltametrina	G <sub>1</sub>	173,73 (127,83-228,31)*	1,58 $\pm$ 0,18	7,19	4	19,0
	Clorantraniliprole	G <sub>1</sub>	0,49 (0,28-0,79)	1,29 $\pm$ 0,16	6,43	4	2,5
	Metaflumizona	G <sub>1</sub>	136,39 (98,71-188,18)*	1,97 $\pm$ 0,24	3,43	4	4,7
	<i>Bt</i>	G <sub>1</sub>	0,05 (0,03-0,08)*	1,08 $\pm$ 0,13	5,29	4	2,5
	Deltametrina	G <sub>6</sub>	73,68 (55,23-99,95)*	2,08 $\pm$ 0,28	2,95	4	8,1
	Clorantraniliprole	G <sub>6</sub>	0,40 (0,3-2,16)	1,09 $\pm$ 0,23	8,11	4	2,0
	Metaflumizona	G <sub>6</sub>	112,66 (66,81-209,09)	0,98 $\pm$ 0,16	2,14	4	3,8
	<i>Bt</i>	G <sub>6</sub>	0,06 (0,04-0,09)	0,06 $\pm$ 0,27	3,36	4	3,0
<b>D-Delta</b>	Deltametrina	G <sub>6</sub>	331,81 (256,16-448,05)*	2,26 $\pm$ 0,29	4,61	4	35,7
	Clorantraniliprole	G <sub>6</sub>	0,38 (0,22-0,62)	1,35 $\pm$ 0,18	5,84	4	2,0
	Metaflumizona	G <sub>6</sub>	104,22 (66-60-175,02)*	1,18 $\pm$ 0,18	4,25	4	3,6
	<i>Bt</i>	G <sub>6</sub>	0,07 (0,04-0,11)*	1,36 $\pm$ 0,21	2,35	4	3,5
<b>D-Bt</b>	Deltametrina	G <sub>6</sub>	71,40 (55,88-92,60)*	2,76 $\pm$ 0,39	1,15	4	7,7
	Clorantraniliprole	G <sub>6</sub>	0,45 (0,25-0,78)	1,10 $\pm$ 0,14	5,63	4	2,3
	Metaflumizona	G <sub>6</sub>	96,57 (65,99-149,26)*	1,48 $\pm$ 0,20	5,70	4	3,3
	<i>Bt</i>	G <sub>6</sub>	0,50 (0,28-0,87)*	1,03 $\pm$ 0,14	0,63	3	25,0
<b>D-Rotação<sub>1</sub></b>	Deltametrina	G <sub>6</sub>	80,53 (64,01-103,19)*	3,15 $\pm$ 0,46	1,12	3	9,0
	Clorantraniliprole	G <sub>6</sub>	0,38 (0,16-0,87)	1,29 $\pm$ 0,36	12,92	4	2,0
	Metaflumizona	G <sub>6</sub>	103,40 (69,37-163,73)*	1,38 $\pm$ 0,19	4,06	4	3,5
	<i>Bt</i>	G <sub>6</sub>	0,08 (0,03-0,12)*	1,12 $\pm$ 0,16	0,66	3	4,0
<b>D-Rotação<sub>2</sub></b>	Deltametrina	G <sub>6</sub>	92,94 (72,34-121,63)*	2,68 $\pm$ 0,37	1,72	4	10,2
	Clorantraniliprole	G <sub>6</sub>	0,90 (0,10-5,77)	1,12 $\pm$ 0,24	8,56	4	4,5
	Metaflumizona	G <sub>6</sub>	81,92 (52,35-125,79)*	1,26 $\pm$ 0,18	3,84	4	2,8
	<i>Bt</i>	G <sub>6</sub>	0,10 (0,05-0,18)*	1,08 $\pm$ 0,15	1,86	3	5,0
<b>SUS</b>	Deltametrina	G <sub>&gt;20</sub>	9,13 (4,45-13,05)	2,34 $\pm$ 0,23	0,45	4	
	Clorantraniliprole	G <sub>&gt;20</sub>	0,20 (0,07-0,43)	1,18 $\pm$ 0,29	8,67	4	
	Metaflumizona	G <sub>&gt;20</sub>	29,15 (15,71-36,72)	1,60 $\pm$ 0,25	2,93	4	
	<i>Bt</i>	G <sub>&gt;20</sub>	0,02 (0,003-0,02)	1,24 $\pm$ 0,27	0,60	3	

Fonte: Elaborada pelo autor. <sup>a</sup>GL= grau de liberdade; <sup>b</sup>RR= Razão de resistência (CL<sub>50</sub> da população resistente/ CL<sub>50</sub> da população suscetível de referência). D-Rotação 1 (exposição a: G<sub>2</sub>= Clorantraniliprole, G<sub>3</sub>= *Bt*, G<sub>4</sub>= Metaflumizona e G<sub>5</sub>= Clorantraniliprole) e D-Rotação 2 (exposição a

$G_2$ = Clorantraniliprole,  $G_3$ = *Bt*,  $G_4$ = Clorantraniliprole e  $G_5$ = *Bt*).  $CL_{50}$  marcada com \* diferem da população suscetível “SUS” quando comparadas pelo Intervalo de Confiança (IC 95%).

Tabela 13. Média ( $\pm$  erro padrão) de duração (dias) dos ovos, instares (L1-L4), fases de pré-pupa e pupa de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Bt) aplicados sucessivamente e/ou em rotação

População	Tempo de desenvolvimento ( $\pm$ EP) dias*						
	Ovo	L1	L2	L3	L4	Total larval	Pupa
<b>SUS</b>	3,10 $\pm$ 0,05 A	1,21 $\pm$ 0,06	2,0 $\pm$ 0,01	1,02 $\pm$ 0,01	3,00 $\pm$ 0,0	7,21 $\pm$ 0,06 A	4,11 $\pm$ 0,07 A
<b>D-Controle</b>	3,21 $\pm$ 0,05 A	1,58 $\pm$ 0,07	1,95 $\pm$ 0,05	1,47 $\pm$ 0,07	3,19 $\pm$ 0,06	8,22 $\pm$ 0,12 BC	4,13 $\pm$ 0,06 A
<b>D-Delta</b>	3,00 $\pm$ 0,00 B	1,10 $\pm$ 0,05	1,92 $\pm$ 0,04	1,05 $\pm$ 0,03	4,13 $\pm$ 0,05	8,21 $\pm$ 0,09 BC	4,97 $\pm$ 0,05 BC
<b>D-Bt</b>	3,04 $\pm$ 0,03 B	1,12 $\pm$ 0,05	2,00 $\pm$ 0,00	1,09 $\pm$ 0,04	4,95 $\pm$ 0,03	9,16 $\pm$ 0,08 D	5,16 $\pm$ 0,06 C
<b>D-Rotação1</b>	3,00 $\pm$ 0,00 B	1,25 $\pm$ 0,10	1,92 $\pm$ 0,04	1,05 $\pm$ 0,03	3,9 $\pm$ 0,06	8,1 $\pm$ 0,08 B	4,90 $\pm$ 0,07 B
<b>D-Rotação2</b>	3,00 $\pm$ 0,00 B	1,27 $\pm$ 0,06	2,06 $\pm$ 0,05	1,15 $\pm$ 0,05	3,90 $\pm$ 0,05	8,45 $\pm$ 0,11 C	4,27 $\pm$ 0,06 A

Fonte: Elaborada pelo autor. D-Rotação 1 (G<sub>2</sub>= exposição a Clorantraniliprole, G<sub>3</sub>= exposição a *Bt*, G<sub>4</sub>= exposição a Metaflumizona e G<sub>5</sub>= exposição a Clorantraniliprole) e D-Rotação 2 (G<sub>2</sub>= exposição a Clorantraniliprole, G<sub>3</sub>= exposição a *Bt*, G<sub>4</sub>= exposição a Clorantraniliprole e G<sub>5</sub>= exposição a *Bt*). \*Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 14. Média ( $\pm$  erro padrão) de sobrevivência larval, duração (dias) do ciclo total (ovo-pupa) e peso de pupas de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (*Bt*) aplicados sucessivamente e/ou em rotação

<b>População</b>	<b>Sobrevivência larval (%)</b>	<b>Ciclo total (ovo-pupa)</b>	<b>Peso de pupas (g)</b>
<b>SUS</b>	88,33 $\pm$ 4,18 A	14,43 $\pm$ 0,11 A	0,0052 $\pm$ 0,01 A
<b>D-Controle</b>	78,33 $\pm$ 5,36 A	15,50 $\pm$ 0,16 B	0,0051 $\pm$ 0,01 A
<b>D-Delta</b>	69,00 $\pm$ 6,06 A	16,18 $\pm$ 0,09 C	0,0033 $\pm$ 0,01 B
<b>D-Bt</b>	73,33 $\pm$ 5,76 A	17,38 $\pm$ 0,11 D	0,0048 $\pm$ 0,001 A
<b>D-Rotação1</b>	80,00 $\pm$ 5,71 A	15,90 $\pm$ 0,10 B	0,0051 $\pm$ 0,002 A
<b>D-Rotação2</b>	86,00 $\pm$ 4,95 A	15,72 $\pm$ 0,12 B	0,0049 $\pm$ 0,002 A

Fonte: Elaborada pelo autor. D-Rotação 1 (G<sub>2</sub>= exposição a Clorantraniliprole, G<sub>3</sub>= exposição a *Bt*, G<sub>4</sub>= exposição a Metaflumizona e G<sub>5</sub>= exposição a Clorantraniliprole) e D-Rotação 2 (G<sub>2</sub>= exposição a Clorantraniliprole, G<sub>3</sub>= exposição a *Bt*, G<sub>4</sub>= exposição a Clorantraniliprole e G<sub>5</sub>= exposição a *Bt*). Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 15. Média ( $\pm$  erro padrão) de sobrevivência larval, longevidade de fêmeas e de machos e razão sexual de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) expostas a seleção artificial em laboratório por quatro gerações com os inseticidas: deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (*Bt*) aplicados sucessivamente e/ou em rotação

População	Longevidade de fêmeas (dias)	Longevidade de machos (dias)	Razão sexual
SUS	14,00 $\pm$ 0,83 A [13]	16,88 $\pm$ 0,63 A [11]	0,55 $\pm$ 0,08 A
D-Controle	12,50 $\pm$ 0,56 B [10]	15,87 $\pm$ 0,35 B [11]	0,47 $\pm$ 0,07 A
D-Delta	12,30 $\pm$ 0,42 B [10]	13,05 $\pm$ 0,29 C [11]	0,47 $\pm$ 0,08 A
D-Bt	12,90 $\pm$ 0,28 B [12]	15,09 $\pm$ 0,31 B [11]	0,52 $\pm$ 0,08 A
D-Rotação1	13,00 $\pm$ 0,30 B [14]	15,28 $\pm$ 0,37 B [10]	0,57 $\pm$ 0,08 A
D-Rotação2	12,45 $\pm$ 0,43 B [11]	14,68 $\pm$ 0,35 B [11]	0,50 $\pm$ 0,07 A

Fonte: Elaborada pelo autor. [n] número de observações; D-Rotação 1 (G<sub>2</sub>= exposição a Clorantraniliprole, G<sub>3</sub>= exposição a *Bt*, G<sub>4</sub>= exposição a Metaflumizona e G<sub>5</sub>= exposição a Clorantraniliprole) e D-Rotação 2 (G<sub>2</sub>= exposição a Clorantraniliprole, G<sub>3</sub>= exposição a *Bt*, G<sub>4</sub>= exposição a Clorantraniliprole e G<sub>5</sub>= exposição a *Bt*). Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

## 4 DISCUSSÃO

O uso excessivo de piretroides com o intuito de controlar a maioria dos insetos-praga favorece a evolução da resistência a este ingrediente ativo e, apesar de ter sido amostrados poucos pontos, os resultados demonstram a ocorrência de populações de *P. xylostella* com resistência a deltametrina em regiões da Serra da Ibiapaba, CE. No campo, mediante a ocorrência de mutações (LI *et al.*, 2007), os insetos adquirem a capacidade de sobreviver a ação das moléculas químicas resultando no aumento da frequência do gene de resistência nas gerações posteriores (SUDO *et al.*, 2017). Considerando que os inseticidas pertencentes ao grupo químico dos piretroides são bastante utilizados na agricultura por apresentarem largo espectro (MONTANHA e PIMPÃO, 2012), a pressão de seleção promove o aumento da sobrevivência dos indivíduos resistentes, como constatado neste estudo.

Mesmo diante da ausência de nível de resistência a clorantraniliprole, metaflumizona e *B. thurigiensis* foi constatado variação na suscetibilidade entre as populações e quando comparadas à população suscetível. É bastante provável que esta variação na suscetibilidade esteja relacionada com as táticas de controle adotadas em cada área amostrada. A população UBAJ-1 foi oriunda de uma área com plantio de couve-manteiga com adoção de medidas de cultivo orgânico e portanto, sob ausência de aplicação de inseticidas. Por outro lado, as populações TIAN e UBAJ-2 foram coletadas em áreas com plantio de repolho adotando-se práticas de cultivo convencional. Além disso, *P. xylostella* apresenta elevada capacidade de migrar e dispersar-se a longas distâncias (TALEKAR e SHELTON, 1993) o que pode promover a inserção de indivíduos resistentes de uma área para a outra. Acredita-se que as mariposas podem permanecer em voo contínuo por vários dias e cobrir a distancia de até 1000 km por dia (SMITH e SEARS, 1985; HONDA, 1992; TALEKAR e SHELTON, 1993).

A diferença encontrada da suscetibilidade das populações de TIAN e UBAJ-2 a metaflumizona com a suscetível indica a possibilidade de resistência cruzada com outros inseticidas aplicados anteriormente, pois sua utilização em escala comercial é recente. Como na área de coleta da população UBAJ-1 não se utiliza inseticidas é possível que a variação da suscetibilidade seja devido a capacidade de dispersão da praga, uma vez que, as áreas amostradas são próximas.

A resistência de *P. xylostella* a deltametrina (SAYYED *et al.*, 2005; SAYYED *et al.*, 2008, ATUMURIRAVA, 2015), clorantraniliprole (RIBEIRO *et al.*, 2013; GUO *et al.*, 2014; TROCZKA *et al.*, 2017), metaflumizona (SHEM *et al.*, 2017) e *B. thurigiensis* (CASTELO BRANCO *et al.*, 2003; TABASHNIK *et al.*, 2009; BAXTER *et al.*, 2011; BORTOLI, 2018)

já foram descritas. Estes relatos comprovam que a aplicação sucessiva de deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e *B. thurigiensis* ocasionam a manutenção e aumento da frequência de resistência, ratificando os resultados obtidos neste estudo. Em contraste, populações resistentes a deltametrina exposta a três (clorantraniliprole, *B. thurigiensis* e metaflumizona) e/ou dois inseticidas (clorantraniliprole e *B. thurigiensis*) em rotação tende a declinar a frequência de indivíduos resistentes nas gerações subsequentes. A rotação de inseticidas foi eficiente na redução de *P. xylostella* resistente a espinosade e indoxacarbe (ZAHO *et al.*, 2010) e *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) resistente a organofosforados e piretróides (KANGA *et al.*, 2003).

Há casos em que a resistência a inseticidas é considerada instável reduzindo rapidamente em populações selecionadas no laboratório ou no campo (CARRIE`RE e TABASHNIK, 2001). Verificou-se instabilidade da resistência a deltametrina e isto pode ser atribuído aos altos custos associados ao fenótipo de resistência relacionado com o custo adaptativo envolvido. Estes resultados são semelhantes aos estudos relatados anteriormente em populações resistentes a indoxacarb (SAYYED e WRIGHT 2006) e clorantraniliprole (RIBEIRO *et al.*, 2013). Na ausência de pressão de seleção, os alelos que conferem resistência tornam-se raros quando associados à efeitos negativos sobre a aptidão biológica das pragas (HOFFMANN e PARSONS, 1991, HOLLINGSWORTH *et al.* 1997; SAYYED e WRIGHT, 2006).

Os poucos relatos indicam a ausência de resistência cruzada de metaflumizona (KHAKAME *et al.*, 2013) e clorantraniliprole (SILVA *et al.*, 2012) com outros inseticidas e são escassos relatos de resistência cruzada entre metaflumizona, clorantraniliprole e *B. thurigiensis*. O risco de desenvolvimento de resistência cruzada de *B. thurigiensis* e os demais inseticidas é mínimo. O sítio de ação e os mecanismos mais comuns envolvidos na resistência a *Bt* é referente a redução da ligação da toxina às células do intestino médio (PARDO-LÓPEZ *et al.*, 2013) e são distintos aos demais inseticidas. Apesar da ausência dos dados que validam a presença de custo adaptativo e resistência cruzada, os resultados obtidos demonstram que o uso de metaflumizona, clorantraniliprole e *B. thurigiensis* aplicados em alternância é viável para gerenciar populações de *P. xylostella* resistentes a deltametrina.

Os insetos oriundos da pressão seleção a deltametrina e *Bt* demoraram mais para se desenvolver em comparação com os insetos suscetíveis, sugerindo a presença de custo adaptativo relacionado à resistência, corroborando com relatos descritos na literatura (SAYYED *et al.*, 2008; ATUMURIRAVA, 2015, LIU *et al.*, 2015). Estes resultados são importantes, pois com o intuito de garantir a eficácia da alternância de inseticidas é necessário

assumir a existência de custo adaptativo dos indivíduos resistentes na ausência da pressão de seleção e que não existe resistência cruzada entre os componentes da rotação (GEORGHIOU, 1983, TABASHNIK, 1989). Populações de *P. xylostella* resistentes à deltametrina (SAYYED *et al.*, 2005; SAYYED *et al.*, 2008), clorraniliprole (RIBEIRO *et al.*, 2013), metaflumizona (SHEN *et al.*, 2017) e *B. thurigiensis* (TABASHNIK *et al.*, 1994) reduziram a frequência de resistência na ausência dos respectivos inseticidas e, essa alteração foi associada ao aumento da aptidão biológica. *Plutella xylostella* resistente a deltametrina e indoxacarb (SAYYED *et al.*, 2008) e também à clorraniliprole (RIBEIRO *et al.*, 2013, LIU *et al.*, 2015) apresentaram aumento da fase larval e, conseqüentemente, do ciclo total, confirmando os resultados obtidos neste trabalho.

O prolongamento de determinada fase do inseto que porta o alelo de resistência pode resultar em aumento de mortalidade por meio de fatores abióticos e bióticos (KONOPKA *et al.*, 2012). Este aumento do tempo de desenvolvimento pode resultar no aumento da exposição a inimigos naturais e assim, menor sobrevivência para o estágio adulto (DMITRIEW e ROWE, 2005; MUELLER e ARAND 2007), reduzindo as chances da evolução da resistência.

Não foi avaliado a fecundidade das fêmeas neste trabalho, mas a redução do peso das pupas e da longevidade dos adultos pode ser indicativo de possível alteração no potencial reprodutivo dessa espécie na ausência da pressão de seleção. O peso das pupas é um bom indicador de fecundidade de insetos quando são criados nas mesmas condições (LEATHER, 1988) e pupas menores e leves são menos fecundas, representando um custo significativo de aptidão (ATUMURIRAVA, 2015). Possivelmente, das pupas menores saíram fêmeas e machos menores e, geralmente fêmeas menores produzem menos ovos do que fêmeas maiores (HONEK *et al.*, 2008) e, podem apresentar menor fecundidade. Por sua vez, machos com alelo de resistência, podem ter sucesso reprodutivo reduzido e, menos sucesso em adquirir parceiras para o acasalamento (COUVILLON *et al.*, 2010).

Os resultados obtidos da rápida reversão da resistência em conjunto com os efeitos nos parâmetros biológicos sugerem a possibilidade de restrições e conseqüentemente redução da evolução da resistência. Em suma, isso significa que na ausência da pressão de seleção, a população resistente reduzirá o número de descendentes em relação à suscetível e, aumenta-se assim as chances de reestabelecimento da suscetibilidade.



## 5 CONCLUSÕES

Populações de *P. xylostella* da região da Serra da Ibiapaba-Ceará apresentam resistência média a Deltametrina e ausência de resistência a *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki*, clorantraniliprole e metaflumizona.

A resistência média de *P. xylostella* à deltametrina pode ser reduzida por meio de aplicações rotacionadas de clorantraniliprole, metaflumizona e *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki* e/ou apenas alternância de clorantraniliprole e *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki*.

#### 4 MANEJO DE RESISTÊNCIA A INSETICIDAS NO CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) E CUSTO ADAPTATIVO ASSOCIADO

##### RESUMO

Apesar da quantidade de inseticidas registrados para o controle de *Spodoptera frugiperda* (J. M. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a utilização dos produtos químicos tem apresentado falhas e casos de resistência. Assim, objetivou-se avaliar se a rotação utilizando espinetoram e metaflumizona reduzem as chances do aumento da frequência de resistência de *S. frugiperda* com certo grau de resistência a metaflumizona e se existe custo adaptativo associado. Para realização dos ensaios, foram coletadas lagartas em campo e, no laboratório foi avaliada a frequência de resistência inicial. Foram avaliadas cinco gerações, expondo, no mínimo, 200 lagartas/tratamento, sendo: aplicação sucessiva de metaflumizona (M-MET) ou de espinetoram (M-ESP); alternância de inseticidas [(M-Rotação) - G<sub>2</sub>= exposição a espinetoram, G<sub>3</sub>= a metaflumizona, G<sub>4</sub>= a espinetoram, G<sub>5</sub>= a metaflumizona e G<sub>6</sub>= a espinetoram] e mantidas na ausência de inseticidas (M-Controle). Após quatro dias da aplicação, os sobreviventes foram utilizados para a formação da nova população. Na G<sub>7</sub>, com as populações oriundas dos tratamentos foram avaliados: a viabilidade larval; a deformação de pupas (%), a emergência de adultos (%); o período de incubação dos ovos; a duração da fase larval, pupal e ciclo total; o peso das pupas; a razão sexual; a longevidade de adultos (machos e fêmeas) e a fertilidade diária e total. Estimou-se ainda parâmetros da tabela de vida de fertilidade. A frequência de resistência foi estimada com base na porcentagem de sobrevivência das lagartas tratadas com cada inseticida em cada geração. Constatou-se aumento da frequência de resistência quando a população de *S. frugiperda* foi exposta sucessivamente a metaflumizona e espinetoram. As aplicações alternadas reduziram significativamente a frequência de resistência ao longo das gerações. As populações oriundas dos tratamentos com exposição sucessiva aos inseticidas apresentaram aumento no período de incubação dos ovos, maior deformação de pupas e período larval e pupal, redução na emergência, na longevidade de adultos, nos parâmetros populacionais e na aptidão relativa, sugerindo presença de custos adaptativos associados à essa resistência.

**Palavras-chave:** Lagarta-do-cartucho. Controle químico. Suscetibilidade. Monitoramento de resistência.

## ABSTRACT

Although the amount of insecticides registered for the control *Spodoptera frugiperda* (J. M. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), the use of chemicals has presented failures and cases of resistance. The aim of this study was to evaluate whether rotation using spinetoram and metaflumizone reduces the chances of increasing the resistance frequency of *S. frugiperda* with a certain degree of resistance to metaflumizone and whether there is an adaptive cost associated with resistance. To perform the tests, field larvae were collected and, in the laboratory, the initial resistance frequency was evaluated. Five generations were evaluated, exposing at least 200 larvae/treatment, being: successive application of metaflumizone (M-MET); successive application of espinetoram (M-ESP); [(M-Rotation) – G<sub>2</sub>= Exposure to spinetoram, G<sub>3</sub>= Exposure to metaflumizone, G<sub>4</sub>= Exposure to spinetoram, G<sub>5</sub>= Exposure to metaflumizone and G<sub>6</sub>= Exposure to Spinetoram] and maintained in the absence of both insecticides (M-Control). After four days of application, the survivors were used for the formation of the new population, ie, following generations. In the G<sub>7</sub>, with populations from the selection, M-MET, M-ESP, and Susceptible, were evaluated: larval viability; the percentage of deformation of pupae; the emergence of adults; the incubation period of the eggs; the duration of the larval stage, pupal and total cycle; the weight of the pupae; sexual reason; the longevity of adults (males and females) and daily and total fertility. Fertility life table parameters were also estimated. The resistance frequency was estimated based on the survival percentage of the larvae treated with each insecticide in each generation. Increased resistance frequency was observed when the population of *S. frugiperda* was exposed successively to metaflumizone and spinetoram. Alternating applications have significantly reduced the frequency of resistance over generations. No cross-resistance was observed between metaflumizone and spinetoram. The populations from treatments with successive insecticide exposure showed an increase in egg incubation period, higher percentage of pupae deformation, larval and pupal period, reduction in the percentage of emergence and longevity of adults, population parameters and relative fitness, suggesting the presence of adaptive costs associated with resistance.

**Keywords:** Fall armyworm. Chemical control. Toxicity. Susceptibility. Resistance monitoring.

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar de apresentar preferência alimentar por gramíneas, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) é um inseto polífago, alimentando-se de mais de 60 espécies, dentre elas, diversas culturas de importância econômica (CRUZ e MONTEIRO, 2004). Mesmo diante de diversas possibilidades de controle, o manejo dessa praga é realizado, em muitos casos, por meio do uso de produtos químicos. No entanto, o desenvolvimento de resistência aos inseticidas convencionais (carbamatos, avermectinas, piretróides, oxadiazina, organofosforados, spinosinas e benzofeniluréias) resultou e continua resultando em falhas de controle devido aos casos de resistência em campo (APRD, 2019).

Comunicados e boletins vêm sendo publicados no sentido de relatar e propor estratégias de Manejo da Resistência a Inseticidas (MRI) de *S. frugiperda* (IRAC, 2018). O MRI é uma abordagem científica que visa o controle de pragas onde a evolução da frequência de resistência ainda é reduzida e conseqüentemente não interfere na produção (ZHAO *et al.*, 2010). Associado ao Manejo Integrado de Pragas (MIP), o MRI visa redução do uso contante do mesmo grupo de ingrediente ativo e o prolongamento da eficácia de produtos lançados (CRUZ, 2002).

Dentro do MRI, uma das estratégias utilizadas é o “manejo por ataque múltiplo” que consiste na utilização de mistura de inseticidas e/ou alternância entre moléculas (COYNE, 1951). Considerando dois ou mais inseticidas com modo de ação e metabolismo diferentes, pode-se alternar seu uso a curto prazo (rotação), a longo prazo (introdução sequencial) ou em aplicações espaciais (mosaico) (GEORGHIOU, 1983; ROUSH, 1989). Assim, na estratégia de rotação, os tratamentos são aplicados no mesmo espaço em diferentes momentos e, os insetos resistentes a um inseticida serão mortos pelo próximo inseticida (ONSTAD, 2008). Nesse sistema, os alelos suscetíveis são preservados no espaço e/ou no tempo e essa preservação de alelos é a chave para um MRI de sucesso (ZHAO *et al.*, 2010).

Não é novidade que no processo de seleção há um custo adaptativo associado ao processo de resistência, influenciando o tempo de desenvolvimento, a fertilidade e a fecundidade de populações resistentes (ARNOUD *et al.*, 2002; DINGHA *et al.*, 2004; GUEDES *et al.*, 2006), ocasionando certa desvantagem na ausência de inseticidas (KONO, 1987; ARGENTINE *et al.*, 1989; ARNOUD *et al.*, 2002). Informações sobre a possibilidade de custo adaptativo associado à resistência à um determinado inseticida são de suma importância, pois o sucesso da rotação das moléculas químicas depende desse custo na ausência da pressão de seleção e que não exista resistência cruzada entre os componentes da

rotação (GEORGHIOU, 1983, TABASHNIK, 1990), resultando na redução da frequência de indivíduos resistentes na população de campo (ARNOUD e HAUBAGE, 2002).

Apesar dos esforços de modelagem, poucos testes validam a capacidade e eficiência da rotação como estratégia de MRI, uma vez que, existe ampla gama de princípios ativos registrados e alguns a serem lançados e que necessitam de estudos mais detalhados de seus possíveis efeitos. Assim, este estudo tem por objetivo avaliar se a rotação utilizando espinetoram e metaflumizona reduzem as chances do aumento da frequência de resistência de *S. frugiperda*; os efeitos da ausência e das aplicações sucessivas de metaflumizona e espinetoram em subpopulações provenientes da população resistente e; a possibilidade do custo adaptativo associado à resistência das populações resultantes.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará.

### 2.1 Obtenção das populações

A população padrão de suscetibilidade foi coletada na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da UFC, Campus do Pici (Latitude 3° 44'S, Longitude 38° 34'W e altitude de 19,6 m) e, mantida por, aproximadamente, três anos na ausência de inseticidas. A população de *S. frugiperda* considerada resistente foi coletada em áreas comerciais localizadas no município de Quixeré, Ceará (Latitude de 5°4'34"S, Longitude de 38°1'59.84"O, e altitude média de 28,0 m) com temperatura máxima média de 35,0 e mínima de 22,0°C. Após a coleta em campo, foram avaliadas (n= 360 lagartas) verificando-se frequência de resistência à metaflumizona e espinetoram após a exposição a 670 ppm e 24 ppm, respectivamente. As populações foram mantidas no laboratório em tubos de vidro (2,5 cm x 8,5 cm), contendo dieta artificial (GREENE *et al.* 1976 modificada por HOFFMANN-CAMPO, 1985).

### 2.2 Inseticidas

Foram utilizados os inseticidas: Delegate<sup>®</sup> [espinosinas - 250 g i.a/Kg WG (espinetoram)] e Alverde<sup>®</sup> [metaflumizona - 240 g i.a./L EC (grupo químico dos semicarbazones)].

### 2.3 Bioensaios de seleção artificial e rotação com metaflumizona e espinetoram

A pressão de seleção na população que apresentou frequência de resistência à metaflumizona foi mantida em laboratório por meio de ensaios de ingestão. Curvas de concentração-resposta com os inseticidas metaflumizona e espinetoram foram estabelecidas para a população resistente a metaflumizona na  $G_1$  para verificação da suscetibilidade e obtenção das concentrações letais utilizadas nos ensaios subsequentes. Foram testadas cinco concentrações de metaflumizona (10, 20, 80, 400 e 800 ppm) e seis de espinetoram (0,3, 0,6, 3, 12, 50 e 100 ppm). Cada inseticida e suas respectivas concentrações foi diluído em água destilada com adição do emulsificante Triton X-100 (0,01%). A testemunha foi água destilada mais o emulsificante Triton X-100 (0,01%). Foram avaliados 100 insetos (lagartas de 3º instar) por tratamento.

O ensaio foi realizado utilizando-se recipientes plásticos (3,5 x 1,5 cm) contendo 2,5 mL de dieta artificial. Sobre essa dieta, foi aplicado 30  $\mu$ L de cada concentração. Após a secagem superficial do inseticida/concentração aplicada, lagartas de 3º instar foram inoculadas individualmente em cada recipiente, permitindo a ingestão da dieta por até 72 horas em condições controladas ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$  e fotofase 14h) avaliando-se, após esse período, a mortalidade (indivíduos sem movimento aparente após serem tocados com um pincel de pelos finos nos últimos segmentos abdominais).

As concentrações estabelecidas para manutenção da pressão de seleção e aplicações em alternância foram a  $CL_{50} = 668$  ppm de metaflumizona e  $CL_{60} = 10$  ppm de espinetoram.

A partir do estabelecimento das CL's, a população inicial [resistente a metaflumizona (M)] foi mantida sob pressão de seleção ao longo de cinco gerações ( $G_2$  à  $G_6$ ), resultando nos seguintes tratamentos: Manutenção da pressão de seleção pela aplicação sucessiva de metaflumizona (M-MET); aplicação sucessiva de espinetoram (M-ESP); alternância de inseticidas [(M-Rotação) -  $G_2 =$  exposição ao espinetoram,  $G_3 =$  exposição ao metaflumizona,  $G_4 =$  exposição ao espinetoram,  $G_5 =$  exposição ao metaflumizona e  $G_6 =$  exposição ao espinetoram) e; testemunha/controle - mantidas na ausência de ambos os inseticidas (M-Controle). Após quatro dias da aplicação, os sobreviventes foram utilizados para a formação da nova população, ou seja, das gerações seguintes.

Na  $G_7$  foi estabelecida a curva de concentração-resposta com metaflumizona e espinetoram nas populações (Suscetível, M- MET, M-Controle e M-Rotação) para verificação da suscetibilidade e obtenção da concentração letal final, onde os ensaios foram realizados conforme descrito anteriormente para a  $G_1$ .

No mínimo 200 lagartas de cada geração foram expostas aos tratamentos e, a frequência de resistência, foi estimada com base na porcentagem de sobrevivência das lagartas tratadas com cada inseticida, estimando-se também a porcentagem de alteração na sobrevivência ao longo de cinco gerações.

#### 2.4 Estimativa da tabela de vida das populações resultantes

Para a realização dos experimentos foram utilizadas as populações: 1) suscetível mantida no laboratório por cerca de três anos e aproximadamente na 36ª geração ( $G_{36}$ ); 2) resistente a metaflumizona (M-MET -  $G_7$ ) e; 3) inicialmente ( $G_1$ ) resistente a metaflumizona mas exposta sucessivamente a espinetoram (M-ESP- $G_6$ ).

Para avaliação das características biológicas, ovos de *S. frugiperda* provenientes das respectivas populações foram retiradas das gaiolas contendo cerca de 20 casais. Para cada população, 70 ovos foram individualizados em recipientes de acrílico (3,5 x 1,5 cm) onde permaneceram até a emergência das lagartas. As lagartas recém-emergidas foram transferidas para tubos de vidro (2,5 x 8,5 cm) contendo aproximadamente 5,0 mL de dieta artificial. Os tubos foram fechados com algodão hidrófobo para evitar o ressecamento da dieta e a fuga das lagartas e, mantidos em sala climatizada ( $25 \pm 3^\circ\text{C}$ ,  $60 \pm 10\%$  de UR e fotofase de 12 h). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo cada lagarta considerada uma repetição, totalizando assim 70 repetições por tratamento.

A avaliação ocorreu a cada 24 h sendo registrada a mortalidade em cada fase e a mudança de instar. Ao atingir a fase de pupa, estas foram removidas do tubo usando uma pinça e pesadas até 48 h após a sua formação. No momento da pesagem também foi realizada a sexagem (BUTT e CANTU, 1962).

Para avaliação da fecundidade, 15, 13, 14 e 12 casais da população suscetível, M-Controle, M-MET e M-ESP, respectivamente, foram individualizados em gaiolas de tubos PVC adaptadas (8,0 x 15,0 cm) revestida com papel toalha e fechadas na parte superior com tecido tipo “voil”. Os insetos foram alimentados com solução aquosa de mel a 10%. Para determinar a fecundidade diária e total, por fêmea, foram realizadas diariamente a coleta e contagem dos ovos do substrato de oviposição e das massas de ovos aderidas ao “voil”. O tempo de vida de machos e de fêmeas também foi determinado.

No final do ciclo ovo-adulto, os parâmetros avaliados foram: viabilidade larval; porcentagem de deformação de pupas; emergência de adultos; período de incubação dos ovos; duração da fase larval, pupal e ciclo total; peso de pupas com até 48 h de idade; razão sexual; longevidade de adultos (machos e fêmeas) e; oviposição diária e total.

De posse dos dados biológicos obtidos, foram estimados os parâmetros da tabela de vida: Taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), ou seja, a taxa de aumento populacional, considerando fêmeas de uma geração para outra, ou ainda, o número de fêmeas geradas por fêmea parental por geração; intervalo de tempo entre cada geração (T); capacidade inata de aumentar em número (rm); número de indivíduos adicionados à população, por fêmea/dia, que darão origem às fêmeas ( $\lambda$ ) e; o tempo necessário para a população duplicar em número (TD).

### 2.5 Análise de dados

Os dados de mortalidade foram submetidos à análise de Probit por meio do programa SAS e posteriormente calculados os valores das concentrações letais (CL's) por meio software Statistical Analysis System (SAS 9.0). A razão de resistência (RR) foi calculada por: ( $CL_{50}$  da população resistente/  $CL_{50}$  da população suscetível de referência) e, a classificação do nível de resistência a inseticidas das populações foi realizada de acordo com Shen e Wu (1995), onde considera-se como suscetível ( $RR < 3,0$ ), baixa resistência ( $RR = 3,1-5,0$ ), resistência média ( $RR = 5,1-10,0$ ), resistência moderada ( $RR = 10,1-40,0$ ) e alta resistência ( $RR = 40,1-160$ ) e resistência extremamente alta ( $RR > 160,0$ ). Para estimar a diferença entre as populações, utilizou-se o Intervalo de Confiança (95% IC). Os parâmetros biológicos foram comparadas pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). A “aptidão relativa ( $R_f$ )” foi estimada utilizando valores de  $R_0$  ( $R_f = R_0$  da população resistente/ $R_0$  da população suscetível), onde  $R_f > 1$  sugere que a taxa de reprodução líquida da população resistente aumenta, enquanto que  $R_f < 1$  sugere que a população resistente tem um custo de aptidão relativa (LI *et al.* 2000; CA e HAN, 2006; ABBAS *et al.*, 2014).

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Seleção artificial e aplicação em alternância de metaflumizona e espinetoram

A população de *S. frugiperda* (M) coletada no município de Quixeré-CE apresentou frequência de resistência moderada ( $RR = 18,5$ ) à metaflumizona e baixa resistência a espinetoram ( $RR = 4,0$ ) (Tabelas 16 e 17).

Quando a população M foi exposta à metaflumizona, constatou-se aumento de sobrevivência de 49,5% após a seleção ao longo de cinco gerações. A exposição sucessiva da mesma população ao inseticida espinetoram ocasionou aumento de 29,2% de sobrevivência ao longo das cinco gerações. A exposição da população M aos produtos em alternância (M-



Rotação) foi suficiente para ocasionar redução de 55,5% na sobrevivência em apenas cinco gerações (Tabela 16).

A população M-MET, quando exposta ao inseticida metaflumizona na G<sub>7</sub>, apresentou aumento da CL<sub>50</sub> de 113,0 (40,0-145,0) ppm (RR= 3,1) para 811,0 (367,4-4102,0) ppm (RR= 22,5) quando comparada com os resultados obtidos na G<sub>7</sub> mantida sobre ausência de inseticidas (M-Controle) (Tabela 17). Quando exposta ao espinetoram, constatou-se alteração de CL<sub>50</sub> passando de 3,0 (2,0-4,0) ppm (RR= 2,1) para 6,8 (3,6-13,2) ppm (RR= 4,8) mas não diferindo significativamente pela sobreposição do Intervalo de Confiança (95%) (Tabela 17).

Quanto a população M-Rotação, verificou-se redução na CL<sub>50</sub> com relação a exposição ao inseticida metaflumizona quando comparado com a CL<sub>50</sub> da população mantida sobre ausência dos inseticidas na G<sub>7</sub>, constatando-se redução significativa (10 vezes), passando de 668,0 (407,0-1406) ppm (RR= 18,5) para 318,0 (222,0-355,0) ppm (RR= 8,8) (Tabela 17). Também foi observado aumento da suscetibilidade da população mantida sobre exposição alternada aos inseticidas em comparação com a população mantida em exposição sucessiva à metaflumizona. Em termos de CL<sub>50</sub>, houve redução de 811,0 (367,4-4102,0) ppm (RR= 22,5) para 318,0 (222,0-355,0) ppm (RR= 8,8) (Tabela 17).

A manutenção da população na ausência dos inseticidas (M-Controle) resultou no aumento da suscetibilidade para ambos quando comparados as CL's da G<sub>1</sub> e G<sub>7</sub> (Tabela 17). A CL<sub>50</sub> de metaflumizona reduziu de 668,0 (407,0-1406) ppm (RR= 18,5) para 113,0 (40,0-145,0) ppm (RR= 3,1) (Tabela 17). Observou-se também aumento na suscetibilidade quando a população foi mantida na ausência do inseticida espinetoram, 5,8 (2,0-15,8) ppm (RR= 4,1) para 3,0 (2,0-4,0) ppm (RR= 2,1), porém, foi constatada semelhança por meio da sobreposição dos intervalos de confiança, não diferindo significativamente a G<sub>1</sub> e a G<sub>7</sub>.

Constatou-se ausência de resistência cruzada entre metaflumizona e espinetoram (Tabela 17).

Não foi possível obter a CL<sub>50</sub> da população M-ESP pois houve declínio da mesma na G<sub>6</sub>. Porém, verificou-se diferença significativa na sobrevivência ( $p < 0,05$ ) quando as populações M-ESP (G<sub>5</sub>), Suscetível e M-Controle (G<sub>7</sub>) foram expostas à CL<sub>60</sub>= 10 ppm, cerca de 74,1%, 29,0% e 36,0%, respectivamente (Tabela 18).

### 3.2 Parâmetros biológicos e aptidão relativa

A exposição das populações resultantes da seleção aos inseticidas, em todos os testes, não afetou a sobrevivência larval ( $p = 0,62$ ). A população M-MET e M-ESP apresentou menor percentual de deformação pupal ( $p = 0,003$ ) com redução de 22,5% e 16,5%, respectivamente,

em comparação com a população suscetível (Tabela 19). A emergência de adultos foi afetada apenas na população mantida sobre aplicação sucessiva de metaflumizona ( $p < 0,05$ ), com redução de 22,0% em comparação à suscetível (Tabela 19).

O ciclo biológico (ovo-pupa) variou de 32,2 a 37,5 dias (Tabela 20). Constatou-se maior período de desenvolvimento larval e do ciclo total (ovo-pupa) das populações M-MET e M-ESP ( $p > 0,05$ ). No entanto, a população M-ESP apresentou maior período de desenvolvimento desses parâmetros citados anteriormente quando comparada às demais populações (Tabela 20). A duração do desenvolvimento de pupas das populações expostas aos inseticidas (M-MET e M-ESP) e na ausência destes (M-Controle) foi maior ( $p = 0,002$ ) quando comparada com das pupas oriundas da população suscetível (Tabela 20).

A duração do período de incubação dos ovos das populações de *S. frugiperda* variaram entre 3,0 e 3,6 dias (Tabela 20), constatando diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para a população M-ESP, com aumento de 0,5 e 0,6 dia, quando comparada à população suscetível e M-Controle, respectivamente (Tabela 20). O peso de pupas oriundas das lagartas expostas aos inseticidas não foi afetado pelos tratamentos ( $p > 0,05$ ) (Figura 3).

Fêmeas provenientes da população mantida na ausência dos inseticidas e expostas a metaflumizona apresentaram menor longevidade ( $p = 0,004$ ) que a população suscetível, com redução de 1,2 e 1,0 dia, respectivamente. Enquanto machos oriundos da população mantida em contato com o inseticida espinetoram reduziram a longevidade em 2,8 dias em comparação com a suscetível ( $p < 0,05$ ) (Tabela 21). Não houve efeito significativo na razão sexual ( $p = 0,23$ ) e no número de ovos por fêmea ( $p = 0,84$ ) das populações expostas aos inseticidas em todos os tratamentos (Tabela 21).

A capacidade da população aumentar em número a cada geração, ou seja, a taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), foi afetada significativamente ( $p < 0,05$ ). A população M-MET e M-ESP apresentou redução do número de descendentes fêmeas por fêmea, de 221,0 e 113,6 vezes, respectivamente, quando comparado com a população suscetível (Tabela 22). A taxa intrínseca de crescimento populacional ( $r_m$ ) e o tempo necessário para a população duplicar em número de indivíduos (TD) foram afetadas ( $p \leq 0,05$ ) apenas na população exposta ao inseticida metaflumizona, com valores de 0,09 fêmea/fêmea/dia e 8,12 dias, respectivamente (Tabela 22).

Constatou-se efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) na razão finita de aumento ( $\lambda$ ), que corresponde ao número de indivíduos adicionados à população. As populações M-MET e M-ESP, oriundas da exposição sucessiva aos inseticidas, apresentou 1,10 e 1,11

indivíduo/fêmea/dia, respectivamente (Tabela 22). A população M-MET apresentou menor valor quando comparado a população suscetível ( $\lambda = 1,13$  indivíduo/fêmea/dia) (Tabela 22).

Quanto ao tempo de uma geração (T), a população proveniente da exposição ao espinetoram (M-ESP) apresentou maior intervalo de tempo entre cada geração (46,4 dias), o que corresponde ao aumento de cerca de 1,8 dia em comparação com a população suscetível (44,6 dias) ( $p \leq 0,05$ ). Não foi constatada diferença significativa entre as populações M-MET e suscetível (Tabela 22).

A aptidão relativa ( $R_f$ ) observada para as populações M-Controle, M-MET e M-ESP foi de apenas 0,55, 0,30 e 0,62, respectivamente, indicando a presença de custo de aptidão em todas as populações (Tabela 22).

Tabela 16. Mortalidade induzida em amostras de sub-populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) provenientes da população M (coletada no município de Quixeré-CE) por meio de seleção no laboratório (gerações G<sub>2</sub> - G<sub>6</sub>) com metaflumizona e espinetoram aplicados sucessivamente ou em rotação

População	Geração	n <sup>a</sup>	% Sobrevivência	% de alteração na sobrevivência ao longo de quatro gerações
M-Controle (sem exposição a inseticidas)	G <sub>2</sub>	91	98,9	-
	G <sub>3</sub>	80	100,0	-
	G <sub>4</sub>	60	96,6	-
	G <sub>5</sub>	60	95,0	-
	G <sub>6</sub>	60	98,3	-
M-MET (Metaflumizona [668 ppm])	G <sub>2</sub>	300	54,3	-
	G <sub>3</sub>	251	55,7	-
	G <sub>4</sub>	252	63,8	-
	G <sub>5</sub>	223	71,7	-
	G <sub>6</sub>	229	81,2	49,5
M-ESP (Espinetoram [10 ppm])	G <sub>2</sub>	329	54,7	-
	G <sub>3</sub>	213	56,0	-
	G <sub>4</sub>	274	63,5	-
	G <sub>5</sub>	210	69,5	-
	G <sub>6</sub>	189	70,7	29,2
M-Rotação	G <sub>2</sub> (Metaf.)	223	71,4	-
	G <sub>3</sub> (Espinet.)	216	64,8	-
	G <sub>4</sub> (Metaf.)	345	52,1	-
	G <sub>5</sub> (Espinet.)	397	53,6	-
	G <sub>6</sub> (Metaf.)	298	31,8	-55,5

Fonte: Elaborada pelo autor. <sup>a</sup>número de indivíduos testados. Metaf.= metaflumizona e Espinet= espinetoram. As concentrações utilizadas ao longo das gerações foram a CL<sub>50</sub> (668 ppm) do inseticida metaflumizona CL<sub>60</sub> (10 ppm) de espinetoram obtidas na G<sub>0</sub>.

Tabela 17. Resposta de concentração-mortalidade em populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram, na ausência desses inseticidas e em rotação

População	Inseticida	Geração	CL <sub>50</sub> [ppm] (95% IC)	Slope (±ep)	x <sup>2</sup>	GL <sup>a</sup>	RR <sup>b</sup>
<b>M-Controle</b>	Metaflumizona	G <sub>1</sub>	668,0 (407,0-1406)*	0,99 ±0,14	2,83	4	18,5
	Espinetoram	G <sub>1</sub>	5,8 (2,0-15,8)*	1,04 ±0,17	11,20	4	4,1
	Metaflumizona	G <sub>7</sub>	113,0 (40,0-145,0)*	0,58 ±0,11	2,17	4	3,1
	Espinetoram	G <sub>7</sub>	3,0 (2,0-4,0)*	1,24 ±0,11	4,48	4	2,1
<b>M-MET</b>	Metaflumizona	G <sub>7</sub>	811,0 (367,4-4102,0)*	1,07 ±0,07	9,05	4	22,5
	Espinetoram	G <sub>7</sub>	6,8 (3,6-13,2)*	1,20 ±0,11	4,30	4	4,8
<b>M-ESP</b>	Metaflumizona	G <sub>7</sub>	-	-	-	-	-
	Espinetoram	G <sub>7</sub>	-	-	-	-	-
<b>M-Rotação<sup>b</sup></b>	Metaflumizona	G <sub>7</sub>	318,0 (222,0-355,0)*	1,03 (±0,08)	2,01	4	8,8
	Espinetoram	G <sub>7</sub>	5,0 (3,5-7,3)*	1,07 (±0,10)	2,55	4	3,5
<b>Suscetível</b>	Metaflumizona	G <sub>36</sub>	36,0 (18,5-60,7)	1,32 (±0,05)	11,17	4	
	Espinetoram	G <sub>36</sub>	1,4 (0,9-1,8)	0,94 (±0,07)	7,01	4	

Fonte: Elaborada pelo autor. <sup>a</sup>GL= grau de liberdade; <sup>b</sup>RR= Razão de resistência (CL<sub>50</sub> da população resistente/ CL<sub>50</sub> da população suscetível de referência). CL<sub>50</sub> marcada com \* diferem da população suscetível quando comparadas pelo Intervalo de Confiança (IC 95%).

Tabela 18. Porcentagem média de sobrevivência ( $\pm$  erro padrão) de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas à espinetoram ( $CL_{60}$ = 10 ppm)

População	n <sup>a</sup>	Sobrevivência
Suscetível	100	29,0 $\pm$ 2,33 A
M-Controle (G <sub>6</sub> )	100	36,0 $\pm$ 2,66 A
M-ESP (G <sub>5</sub> )	189	74,1 $\pm$ 0,96 B

Fonte: Elaborada pelo autor. <sup>a</sup>número de indivíduos testados. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 19. Porcentagem média ( $\pm$  erro padrão) de sobrevivência larval, pré-pupa, deformação de pupas e emergência de adultos de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram e na ausência destes

População	Sobrevivência larval	Deformação de pupas	Emergência de adultos
Suscetível	94,6 $\pm$ 2,6 A	2,9 $\pm$ 0,06 A	97,0 $\pm$ 2,0 A
M-Controle	94,0 $\pm$ 3,3 A	4,5 $\pm$ 0,21 A	91,0 $\pm$ 5,8 A
M-MET	92,6 $\pm$ 4,3 A	24,5 $\pm$ 1,2 C	75,7 $\pm$ 5,8 B
M-ESP	88,7 $\pm$ 3,6 A	19,0 $\pm$ 1,6 B	90,7 $\pm$ 6,2 A

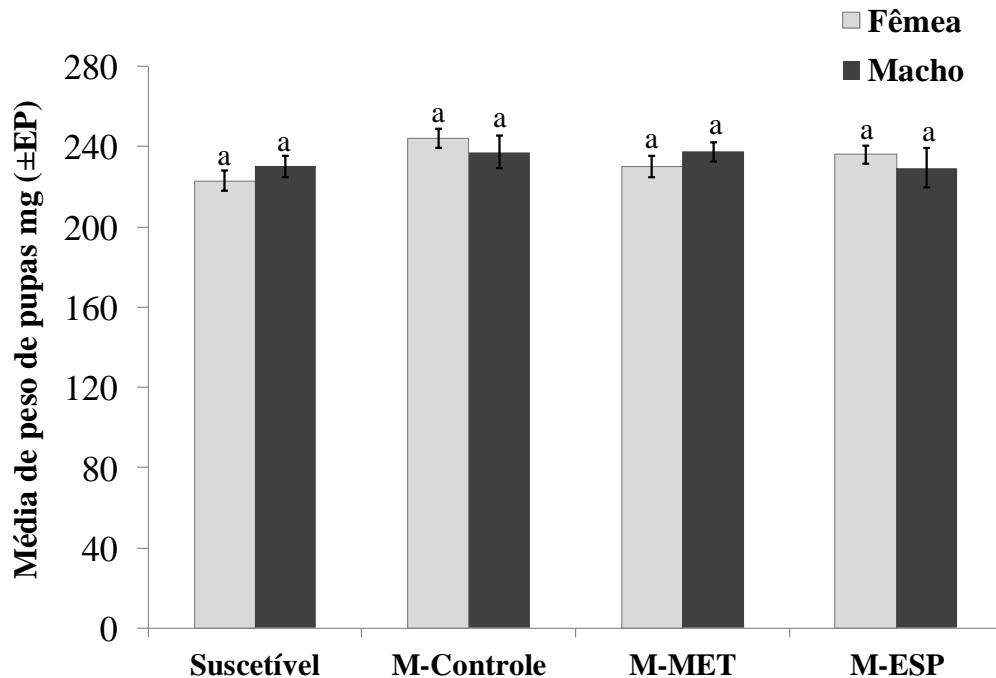
Fonte: Elaborada pelo autor. Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 20. Média ( $\pm$ erro padrão) da duração (dias) dos ovos, instares, fases de pré-pupa e pupas e adultos de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram e na ausência destes

Estágio de desenvolvimento	Populações			
	Suscetível	M-Controle (G <sub>7</sub> )	M-MET (G <sub>7</sub> )	M-ESP (G <sub>7</sub> )
Ovos	3,1 $\pm$ 0,05 A	3,0 $\pm$ 0,0 A	3,3 $\pm$ 0,06 AB	3,6 $\pm$ 0,06 C
L1	3,2 $\pm$ 0,06	3,0 $\pm$ 0,0	3,0 $\pm$ 0,0	3,1 $\pm$ 0,05
L2	3,0 $\pm$ 0,0	2,9 $\pm$ 0,03	2,8 $\pm$ 0,04	3,0 $\pm$ 0,04
L3	2,3 $\pm$ 0,05	2,0 $\pm$ 0,02	2,6 $\pm$ 0,06	2,5 $\pm$ 0,06
L4	2,8 $\pm$ 0,04	2,0 $\pm$ 0,0	2,8 $\pm$ 0,04	2,6 $\pm$ 0,06
L5	3,0 $\pm$ 0,0	2,8 $\pm$ 0,04	3,0 $\pm$ 0,01	3,1 $\pm$ 0,04
L6	3,9 $\pm$ 0,07	3,0 $\pm$ 0,03	3,8 $\pm$ 0,09	4,0 $\pm$ 0,12
L7	3,5 $\pm$ 0,06	3,1 $\pm$ 0,07	3,0 $\pm$ 0,03	3,5 $\pm$ 0,08
Total (lagarta)	19,1 $\pm$ 0,04 B	16,6 $\pm$ 0,03 A	19,8 $\pm$ 0,05 B	21,5 $\pm$ 0,07 C
Pré-pupa	1,4 $\pm$ 0,06	1,3 $\pm$ 0,07	1,3 $\pm$ 0,06	1,4 $\pm$ 0,07
Pupa	10,5 $\pm$ 0,13 A	11,3 $\pm$ 0,16 B	11,1 $\pm$ 0,19 B	11,2 $\pm$ 0,18 B
Total	34,2 $\pm$ 0,27 B	32,2 $\pm$ 0,34 A	35,4 $\pm$ 0,37 C	37,5 $\pm$ 0,54 D

Fonte: Elaborada pelo autor. Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na linha, não diferem entre si, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 3. Média ( $\pm$  erro padrão) do peso de pupas machos e fêmeas (mg) de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram e na ausência destes. Letras iguais entre as colunas claras e escuras não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ) pelo teste F



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 21. Média ( $\pm$ erro padrão) de longevidade de fêmeas e machos, razão sexual e número de ovos por fêmea de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram e na ausência destes

População	Longevidade de fêmeas (dias)	Longevidade de machos (dias)	Razão sexual	Número de ovos/fêmea
Suscetível	20,0 $\pm$ 0,09 A [35]	18,6 $\pm$ 0,18 A [30]	0,53 $\pm$ 0,06 A	662,3 $\pm$ 57,0 A [15]
M-Controle	18,8 $\pm$ 0,41 B [13]	16,7 $\pm$ 0,11 B [26]	0,33 $\pm$ 0,08 A	648,0 $\pm$ 68,2 A [13]
M-MET	19,0 $\pm$ 0,60 B [14]	17,1 $\pm$ 0,28 B [14]	0,52 $\pm$ 0,09 A	583,7 $\pm$ 88,3 A [14]
M-ESP	20,3 $\pm$ 0,56 A [16]	15,8 $\pm$ 0,35 C [20]	0,44 $\pm$ 0,08 A	623,0 $\pm$ 37,3 A [12]

Fonte: Elaborada pelo autor. [n] número de observações. Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 22. Parâmetros de tabela de vida de fertilidade (média  $\pm$  erro padrão (IC95%)) – taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), taxa intrínseca de crescimento populacional ( $r_m$ ), razão finita de aumento ( $\lambda$ ), tempo de uma geração (T) e tempo necessário para a população duplicar em número de indivíduos (TD) - de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) expostas a seleção artificial em laboratório por cinco gerações com os inseticidas metaflumizona e espinetoram e na ausência destes

População	$R_0$ (♀)	$r_m$ (♀/♀/dia)	$\lambda$ (indivíduo / ♀ / dia)	T (dias)	TD (dias)	$Rf_a$
Suscetível	295,7 $\pm$ 24,93 A (241,1-350,4)	0,12 $\pm$ 0,0028 A (0,11-0,13)	1,13 $\pm$ 0,0032 A (1,12- 1,14)	44,6 $\pm$ 0,34 B (44,1-45,6)	5,55 $\pm$ 0,13 A (5,27-5,83)	1,0
M-Controle	149,0 $\pm$ 26,45 BC (95,1-203,0)	0,11 $\pm$ 0,0053 A (0,10-0,12)	1,12 $\pm$ 0,006 A (1,11-1,13)	41,3 $\pm$ 0,35 C (40,6-42,0)	6,15 $\pm$ 0,32 A (5,49-6,82)	0,51
M-MET	84,7 $\pm$ 21,87 C (38,47-131,1)	0,09 $\pm$ 0,0065 B (0,07-0,10)	1,10 $\pm$ 0,0071 C (1,08- 1,11)	43,7 $\pm$ 0,30 B (43,1-44,3)	8,12 $\pm$ 0,64 B (6,74-9,49)	0,30
M-ESP	182,1 $\pm$ 10,76 B (160,9-203,1)	0,11 $\pm$ 0,0023 A (0,10-0,11)	1,11 $\pm$ 0,0026 B (1,11- 1,12)	46,4 $\pm$ 0,50 A (45,4-47,3)	6,21 $\pm$ 0,44 A (5,96-6,46)	0,62

Fonte: Elaborada pelo autor.  $Rf_a$  = Aptidão relativa ( $R_0$  da população resistente/ $R_0$  da população suscetível). Médias seguidas por mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade.  $R_0 = \sum(lx.mx)$  número de descendentes por fêmea por geração, quando  $lx$  = proporção de fêmeas acasaladas na idade  $x$  e  $mx$  = ovos produzidos pela fêmea na idade  $x$  pela razão;  $T = \sum(x.lx.mx) / \sum(lx.mx)$ ;  $r_m = \ln.R_0 / T$ ;  $\lambda = e^{r_m}$  e  $TD = \ln(2) / r_m$ .



## 4 DISCUSSÃO

Embora o registro do inseticida metaflumizona seja relativamente recente no Brasil (Setembro de 2017) (AGROFIT, 2019), constatou-se considerável sobrevivência dos indivíduos de *S. frugiperda* quando expostos ao produto. Uma das possíveis explicações para esse fato seria a possibilidade de ocorrência de resistência cruzada a este ingrediente ativo por meio de uma seleção realizada com outros produtos aplicados anteriormente, mas infelizmente, não existe o histórico dos produtos aos quais as populações foram expostas. Antes mesmo de ser utilizado em escala comercial, observou-se ocorrência de populações de *S. frugiperda* em São Paulo, Paraná e Bahia com sobrevivência superior a população suscetível após exposição a 100 µg metaflumizona/mL (OLIVEIRA, 2008; OKUMA, 2015), corroborando com os resultados obtidos neste trabalho.

A frequência de indivíduos resistentes da população de *S. frugiperda* coletada no município de Quixeré, ao espinetoram foi relativamente baixa. Por se tratar de uma molécula relativamente recente no mercado e registrada para o controle de *S. frugiperda*, esses resultados demonstram o potencial que o ingrediente ativo apresenta para causar mortalidade em *S. frugiperda* em um cenário onde a maioria dos inseticidas tem uso restrito ou até mesmo eliminados das opções de controle em virtude da resistência da praga. Porém, populações de *S. frugiperda* expostas a outros inseticidas pertencentes ao mesmo grupo químico (espinosinas), demonstram o potencial dessa praga em apresentar resistência ao espinetoram por meio da resistência cruzada (DOURADO, 2009) mesmo que não tenha sido detectado na população utilizada. Além disso, a resistência a espinetoram é esperada em caso de uso constante do ingrediente ativo e, medidas de manejo não sejam adotadas pois, ao longo das cinco gerações e exposição contínua de ambos inseticidas, ou seja, pressão de seleção, houve aumento na sobrevivência dos indivíduos e, portanto, aumento na frequência de resistência. A resistência é um fenômeno evolutivo estritamente genético (LI *et al.*, 2007) e o genótipo de resistência pode estar presente antes mesmo do inseticida ser usado (RILEY e SPARKS, 2006). As aplicações sucessivas de inseticidas tendem a remover os indivíduos suscetíveis da população permanecendo, com maior frequência, indivíduos com alelos que conferem resistência. Assim, a exposição sucessiva de inseticidas não os tornam resistentes e sim selecionam indivíduos com alelos que conferem resistência (RILEY e SPARKS, 2006), como observado neste estudo.

A evolução mais rápida da resistência de metaflumizona com relação ao espinetoram indica que, a população inicial apresentava maior frequência de genes que conferiam

resistência a metaflumizona. Em contrapartida, quando a população resistente a metaflumizona foi exposta aos inseticidas (metaflumizona e espinetoram) de modo alternado, houve redução na sobrevivência das lagartas. A aplicação de modo alternado favorece o aumento de indivíduos com alelos suscetíveis a uma determinada molécula química permitindo o acasalamento entre si (SUDO *et al.*, 2017) e, conseqüentemente, a frequência de indivíduos resistentes a este inseticida tende a declinar.

Para que as aplicações alternadas de inseticidas atinjam o sucesso desejado, há necessidade de assumir que existe custo adaptativo dos indivíduos resistentes na ausência da pressão de seleção e que não existe resistência cruzada entre os componentes da rotação (GEORGHIOU, 1983, TABASHNIK, 1989). A ausência de resistência cruzada entre os inseticidas investigados indica a possibilidade de uso em sistema rotacionado. Os inseticidas utilizados pertencem a classes diferentes: Metaflumizona pertence ao grupo químico dos semicarbazone (bloqueador do fluxo de corrente através do canal de sódio) e, o espinetoram às espinosinas (moduladores alostéricos de receptores nicotínicos da acetilcolina) (IRAC, 2018), porém, ambos atuam no mesmo sítio de ação. Mecanismos metabólicos como aumento de atividades de esterases e monooxigenases estão envolvidos na resistência de metaflumizona (GUNNING *et al.*, 2005; TIAN *et al.*, 2014) e, na maioria dos casos relatados para os inseticidas pertencentes as espinosinas. Assim, a resistência está associada à alteração no sítio-alvo (SPARKS *et al.*, 2012; PUINEAN *et al.*, 2013). Além disso, as espinosinas possuem estrutura e mecanismo de ação único, o que difere dos demais inseticidas (SALGADO e SAAR, 2004; SALGADO *et al.*, 2005).

No geral, no MRI, as indicações de rotação de inseticidas estão baseadas na recomendação e uso de no mínimo três inseticidas (IRAC, 2018). No entanto, os resultados demonstraram que a utilização de apenas dois foi viável para reduzir a evolução da resistência da população de *S. frugiperda*. A rotação entre piretroides e organofosforados foi suficiente e eficiente na mitigação da resistência em *Helicoverpa* sp. (Lepidoptera: Noctuidae) em estudos realizados na Austrália (SAWICKI e DENHOLM, 1987).

As populações oriundas dos tratamentos com exposição sucessiva dos inseticidas apresentaram interferência negativa em alguns parâmetros, como aumento no período de incubação dos ovos, no percentual de deformação de pupas, no período larval e pupal, na emergência e na longevidade de adultos. Isto sugere a presença de custos adaptativos associados à resistência. O custo adaptativo ocorre devido ao desvio dos recursos investidos normalmente em características biológicas para manutenção de mecanismos de resistência (CARRIERE *et al.*, 1994, GASSMANN *et al.*, 2009), como aumento na produção de enzimas

destoxicantes (HIGGINSON *et al.*, 2005; KONOPKA *et al.*, 2012). *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) e *S. frugiperda* resistentes a metaflumizona e ao espinosade, respectivamente, demonstraram custo adaptativo associado à resistência (OKUMA, 2015; SHEN *et al.*, 2017).

O custo adaptativo está associado aos genes de resistência e quando são expressos na ausência das moléculas químicas podem afetar a evolução da resistência (LI *et al.*, 2007). Este custo pode refletir em efeitos negativos na reprodução (fertilidade e fecundidade), no desenvolvimento e na sobrevivência dos indivíduos resistentes na ausência do inseticida frequentemente utilizado (ARNOUD, *et al.*, 2002; GASSMANN *et al.*, 2009). O custo adaptativo pode acarretar ainda uma série de outras características indesejáveis, que podem inclusive acarretar na diminuição da frequência de indivíduos resistentes na população ao longo do tempo (LIU *et al.*, 2002; ANOUD e HAUBAGE, 2002).

O aumento na duração do desenvolvimento (incubação dos ovos, período larval e pupal) obtidos neste trabalho corroboram com os obtidos para outros lepidópteros como *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), *Heliothis virescens* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) e *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) (BOIVIN *et al.* 2001, SAYYED *et al.* 2008, WANG *et al.* al. 2010). Aumentar a duração do tempo de desenvolvimento corresponde em desvantagem significativa, uma vez que, este aumento proporciona maior exposição à inimigos naturais e assim, menor chance de sobrevivida para o adulto (DMITRIEW e ROWE, 2005). A redução na longevidade dos adultos também é prejudicial uma vez que diminui a chance de acasalamento, o que pode interferir na fertilização das fêmeas e, conseqüentemente, na proliferação de indivíduos com alelos que conferem resistência.

A população resistente a metaflumizona apresentou efeitos negativos com relação aos parâmetros de crescimento populacional [taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), taxa razão finita de aumento ( $\lambda$ ) e tempo necessário para a população duplicar em número de indivíduos (TD)] e aptidão relativa. Isso significa que na ausência da pressão de seleção, a população resistente reduzirá o número de descendentes em relação à suscetível e, aumenta-se assim as chances de reestabelecimento da suscetibilidade.

Considerando as gerações avaliadas (cinco no total), observou-se aumento expressivo na suscetibilidade dos indivíduos mantidos na ausência da pressão de seleção, demonstrando que, os alelos responsáveis por conferir resistência a metaflumizona parecem ser instáveis. Este fato pode ser atribuído ao custo adaptativo elevado associado ao fenótipo de resistência (SAYYED e WRIGHT, 2006). Os alelos que conferem resistência tornam-se raros em

populações na ausência de pressão de seleção, pois geralmente estão associados a efeitos negativos sobre a aptidão biológica de pragas na ausência do inseticida (HOFFMANN e PARSONS, 1991, HOLLINGSWORTH, *et al.* 1997). População de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) resistente a *Bt* teve a resistência rapidamente revertida na ausência do inseticida e a perda da resistência foi associada ao aumento da aptidão biológica (TABASHNIK *et al.*, 1994). Em *Choristoneura rosaceana* (Harris) (Lepidoptera: Tortricidae), a resistência a clorantraniliprole e espinetoram foi revertida em apenas cinco e seis gerações, respectivamente (SIAL e BRUNNER, 2012).

A constatação de ausência de resistência cruzada de metaflumizona e espinetoram e de efeitos negativos nos aspectos biológicos viabiliza e maximiza o uso destes inseticidas em rotação visando à mitigação da resistência de *S. frugiperda*. Apesar do esforço considerável em desenvolver abordagens sobre a prática de uso da rotação no MIP, a falta de informações encobre a eficiência real da técnica a torna extremamente complexa para tomada de decisão (SHEPARD *et al.*, 2009). As diferenças existentes entre os inseticidas (modos de ação) demonstram a dificuldade de existência futura de resistência cruzada entre os mesmos.

## 5 CONCLUSÕES

Exposições sucessivas de metaflumizona e espinetoram tendem a selecionar e aumentar a frequência de indivíduos resistentes em populações de *S. frugiperda*.

A resistência moderada de *S. frugiperda* à metaflumizona pode ser revertida usando aplicações rotacionadas com espinetoram.

A ausência de aplicação de metaflumizona aumenta a suscetibilidade da população em curto prazo.

Há custo adaptativo associado à resistência de *S. frugiperda* à metaflumizona e espinetoram.

## 5 POPULAÇÕES DE INSETOS-PRAGA RESISTENTES A INSETICIDAS AFETAM A AÇÃO DE INIMIGOS NATURAIS?

### RESUMO

O manejo da resistência de pragas a inseticidas consolidou-se como um dos principais desafios no controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e, o uso de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae), é uma ferramenta promissora e em expansão para o controle dessa praga. Porém, possíveis interferências das populações resistentes sobre a ação dos inimigos naturais ainda não foram bem esclarecidas. Assim, objetivou-se avaliar o desempenho de *T. pretiosum* sobre ovos de populações de *S. frugiperda* com frequência de resistência ao inseticida metaflumizona e exposta ao produto por seis gerações. Cartelas (2,0 x 7,0 cm) contendo ovos de duas populações de *S. frugiperda*, uma resistente à metaflumizona e a outra sem exposição ao produto, foram expostas a fêmeas de *T. pretiosum* por 24 horas, em teste com e sem chance escolha, em três gerações (G<sub>1</sub>, G<sub>4</sub> e G<sub>6</sub>). O delineamento experimental realizado foi inteiramente atualizado, com 25 repetições sendo, cada repetição, uma cartela (unidade experimental) contendo 20 ovos. Os parâmetros avaliados foram: [(Número de ovos parasitados/número total de ovos) x 100]; porcentagem de emergência [(Número de ovos escuros com orifício /número total de ovos parasitados) x 100]; razão sexual [Número de fêmeas emergidas/ (Número de fêmeas + machos)]; número de parasitoides emergidos por ovo [(Número de parasitoides emergidos/número total de ovos parasitados) e a longevidade de machos e de fêmeas. Os resultados obtidos foram submetidos à ANOVA e ao teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Foi constatada redução no parasitismo [41,0% (G<sub>1</sub>) e 28,4% (G<sub>4</sub>), emergência de ovos (17,5%) e parasitoides/ovo (16,2 (G<sub>4</sub>) e 17,2 (G<sub>6</sub>)] em ovos provenientes da população de *S. frugiperda* com frequência de resistência. Fêmeas emergidas de ovos provenientes de populações (G<sub>6</sub>) mantidas sem exposição ao inseticida metaflumizona foram mais longevas, (3,5 dias a mais) do que a população exposta ao inseticida. A razão sexual e a longevidade de machos não foram afetados. Os resultados indicam possibilidade de redução na ação do *T. pretiosum* se populações de *S. frugiperda* apresentarem alguma frequência de resistência à metaflumizona.

**Palavras-chave:** Controle biológico. *Spodoptera frugiperda*. *Trichogramma pretiosum*. Controle químico. Resistência de insetos.

## ABSTRACT

Management of pest resistance to insecticides has become one of the main challenges in control of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) is a promising tool that is increasingly used in control of this pest. However, the possibility of interference from resistant populations on the action of natural enemies has not yet been duly clarified. Thus, the aim of this study was to evaluate the performance of *T. pretiosum* on the eggs of *S. frugiperda* populations with frequency of resistance to the insecticide metaflumizone over six generations of exposure to the product. Egg cards (2.0 x 7.0 cm) containing eggs from two populations of *S. frugiperda*, one resistant to metaflumizone and the other without exposure to the product, were exposed to females of *T. pretiosum* for 24 hours in free-choice and no-choice testing in three generations (G<sub>1</sub>, G<sub>4</sub>, and G<sub>6</sub>). A completely randomized experimental design was used with 25 replications, each replication consisting of an egg card (experimental unit) containing 20 eggs. The following parameters were evaluated: percentage of parasitism [(number of parasitized eggs / total number of eggs) x 100]; percentage of emergence [(number of dark eggs with orifice / total number of parasitized eggs) x 100]; sex ratio [number of emerged females / (number of females + males)]; number of emerged parasitoids per egg (number of emerged parasitoids / total number of parasitized eggs); and the longevity of males and females. ANOVA and the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) were conducted on the results. Results showed a reduction in parasitism [41.0% (G<sub>1</sub>) and 28.4% (G<sub>4</sub>), egg emergence (17.5%) and parasitoids / egg (16.2 (G<sub>4</sub>) and 17.2 (G<sub>6</sub>)] in eggs originating from the *S. frugiperda* population with frequency of resistance. Females that emerged from eggs originating from G<sub>6</sub> populations without exposure to metaflumizone had greater longevity (3.5 days more) than the population exposed to the insecticide. The sex ratio and male longevity were not affected. The results indicate the possibility of reduction in the activity of *T. pretiosum* if *S. frugiperda* populations have some frequency of resistance to metaflumizone.

**Keywords:** Biological control. *Spodoptera frugiperda*. *Trichogramma pretiosum*. Chemical control. Insect resistance.

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar da diversidade de técnicas de controle, os inseticidas continuam a formar a base da gestão de manejo visando reduzir os prejuízos ocasionados por *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Porém, a adoção de uma estratégia de controle que depende única e exclusivamente de aplicações sistemáticas de inseticidas, sem rotacionar princípios ativos, está fadada ao fracasso (FURLONG *et al.*, 2004; BERTICAT *et al.*, 2008; IRAC, 2016), ocasionando prejuízos por meio da seleção de populações resistentes. Considerando essa situação, a adoção de algumas estratégias, que retardem ou reduzam o desenvolvimento de níveis de resistência, associadas às mudanças de atitude e comportamento dos produtores, é de suma importância.

Dentre os manejos propostos, alguns inseridos em um contexto de Manejo Integrado de Pragas (MIP) (STERN *et al.*, 1959), a importância dos inimigos naturais como base de práticas para o efetivo controle de artrópodes-praga tem sido amplamente reconhecida (FURLONG, 2015). No caso de *S. frugiperda*, o controle tem sido feito por meio de liberações de parasitoides do gênero *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (RESENDE e CIOCIOLA 1996, ZUCCHI e MONTEIRO, 1997; CRUZ *et al.*, 1999; BESERRA e PARRA, 2003; BESERRA e PARRA, 2004; PRATISSOLI *et al.*, 2005; BALESTRIN e BORDIN, 2016) usando-o em programas de controle biológico aplicado, uma vez que esses agentes parasitam a fase de ovo da praga e impedem o ataque inicial. No Brasil, a ocorrência natural de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) parasitando ovos desta praga (SÁ, 1991, BESERRA *et al.* 2002; BALESTRIN e BORDIN, 2016) abre boas perspectivas para seu uso aplicado pois além da capacidade de atuar sobre a praga-alvo, esse parasitoide é facilmente criado massalmente em laboratório.

No entanto, para que o uso seja efetivamente realizado, torna-se necessário conhecer a atuação, o comportamento e a eficiência do inimigo natural (ZACHRISSON e PARRA, 1998) em seu hospedeiro. Sabe-se que as fêmeas destes parasitoides possuem estratégias que facilitam a identificação de um hospedeiro de qualidade por meio do contato superficial das antenas (BENTO e NARDI, 2012). Assim, a sequência das atividades de comportamento de busca e reconhecimento auxiliam a fêmea a identificar sinais químicos ou físicos específicos do hospedeiro, ajudando-as na decisão de aceitar ou não o hospedeiro para oviposição ou mesmo, identificando se o hospedeiro está nutricionalmente adequado ou é suficiente para o desenvolvimento completo de sua prole (RORIZ *et al.*, 2006; RUKMOWATI-BROTODJOJO e WALTER, 2006).

Em um programa de controle biológico, a capacidade do parasitoide em atacar e se desenvolver no hospedeiro é uma etapa crucial, pois a existência de alguma característica que evite a oviposição ou o desenvolvimento do parasitoide pode causar falhas no parasitismo e conseqüentemente, no controle (NAVARRO e MARCANO, 1999). Não se sabe se alterações fisiológicas e metabólicas envolvidas no processo de evolução da resistência (DINGHA *et al.*, 2004; GUEDES *et al.*, 2006) afetam características específicas do hospedeiro que interfiram no reconhecimento e estabelecimento de parasitoides. Assim, possíveis interferências de populações com frequência de resistência a inseticidas sobre a ação dos inimigos naturais ainda não foram bem esclarecidas. Embora *T. pretiosum* seja muito utilizado em programas de controle biológico no mundo inteiro, ainda são escassas as informações referentes à sua atividade e eficiência, bem como influência nas características biológicas da progênie quando encontram ovos de hospedeiros que apresentem certa resistência a algum inseticida. Tais estudos devem ser realizados permitindo o conhecimento sobre a associação e indicação de *T. pretiosum* para o controle de pragas que apresentem resistência à inseticidas.

Dessa forma, objetivou-se avaliar o desempenho de *T. pretiosum* sobre ovos de populações de *S. frugiperda* com frequência de resistência ao inseticida metaflumizona e exposta ao produto ao longo de seis gerações.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará. A linhagem “guaraciaba” de *T. pretiosum* utilizada foi coletada naturalmente parasitando ovos de *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae) em frutos de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) (Oliveira *et al* 2020). A população de *S. frugiperda* com frequência de indivíduos resistentes foi coletada em áreas comerciais localizadas no município de Quixeré, Estado do Ceará (latitude 5°4'40"S, longitude 7°59'7"W e, altitude média de 25,0 m acima do nível do mar), com temperatura máxima média de 35,0°C e mínima de 22,0°C. O sistema de criação de *T. pretiosum* foi realizado conforme metodologia descrita por Parra *et al.* (1989).

O experimento foi realizado com ovos de duas populações de *S. frugiperda* (uma resistente mantida sobre pressão de seleção à metaflumizona e outra sem exposição ao produto - considerada população suscetível), ao longo de seis gerações. Foram realizados ensaios sem chance de escolha (G<sub>2</sub>, G<sub>5</sub> e G<sub>7</sub>) e com chance de escolha (apenas em G<sub>7</sub>). Ambas



as populações foram mantidas no laboratório em tubos de vidro (2,5 cm x 8,5 cm), contendo dieta artificial (GREENE *et al.* 1976).

Para a condução do experimento, ovos de cada população, com o auxílio de um pincel umedecido, foram colados nas cartelas de cartolina azul celeste (8,0 x 2,5 cm) usando goma arábica (30%). No teste sem chance de escolha cada cartela (unidade experimental) foi composta por 20 ovos de cada população. Já no teste com chance de escolha cada cartela foi composta por 10 ovos de cada população, totalizando 20 ovos/cartela. Antes de oferecidos aos parasitoides, foram inviabilizados pela exposição à lâmpada germicida pelo período 30 minutos, evitando a possibilidade de eclosão de lagartas não parasitados e perda de dados uma vez que as lagartas são canibais.

As cartelas com ovos inviabilizados de cada população foram inseridas separadamente (sem chance de escolha) ou ao mesmo tempo (com chance de escolha) em tubos de vidro (8,5 x 2,5 cm) contendo uma fêmea parasitoide onde permaneceram expostos ao parasitismo por 24 horas. Os tubos foram fechados com filme plástico PVC<sup>®</sup> evitando a fuga dos parasitoides. As fêmeas parasitoides foram alimentadas com uma gotícula de mel puro colocada na parede dos tubos. Após a exposição, as cartelas foram transferidas para novos tubos de vidro (8,5 x 2,5 cm) e os mesmos acondicionados em condições controladas ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , umidade relativa de  $70 \pm 10\%$  e fotoperíodo de 12 horas), permanecendo até a emergência da geração seguinte dos parasitoides.

A porcentagem de parasitismo [(Número de ovos parasitados/número total de ovos) x 100]; a porcentagem de emergência [(Número de ovos escuros com orifício/número total de ovos parasitados) x 100]; a razão sexual [Número de fêmeas emergidas/(Número de fêmeas+machos)]; o número de parasitoides emergidos por ovo [(Número de parasitoides emergidos/número total de ovos parasitados) e a longevidade (dias) de machos e de fêmeas foram os parâmetros avaliados no teste sem chance de escolha. Para a avaliação desse último parâmetro, 20 fêmeas e 10 machos recém-emergidos foram individualizados em recipientes de acrílico (3,5 x 1,5 cm) contendo uma gota de mel puro para alimentação e, diariamente, avaliados quanto ao tempo de vida. No teste com chance de escolha, realizado na G<sub>6</sub>, apenas a porcentagem de parasitismo e de emergência foram avaliados.

Os experimentos foram realizados em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 25 repetições, sendo cada repetição uma cartela contendo 20 ovos. Os dados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

### 3 RESULTADOS

Constatou-se que o parasitismo de ovos de *S. frugiperda* por *T. pretiosum* decresce em populações que foram expostas sequencialmente ao inseticida metaflumizona (G<sub>2</sub> e G<sub>5</sub>), com redução de aproximadamente 41,0 e 28,4% (Tabela 23). Para a emergência observou-se que 82,7% dos ovos da população exposta ao inseticida, quando parasitados, permitiram a emergência dos adultos do parasitoide mas, mesmo assim houve redução de 17,5% em comparação à testemunha (Tabela 23).

Verificou-se emergência de mais de um parasitoide por ovo em ambas populações hospedeiras avaliadas (mínimo de 1,02 e máximo de 1,32 parasitoides/ovo), porém houve decréscimo de 16,2 e 17,2% quando populações foram expostas ao inseticida na G<sub>5</sub> e G<sub>7</sub>, respectivamente (Tabela 23).

Fêmeas de *T. pretiosum* emergidas de ovos provenientes de populações na G<sub>7</sub> mantidas sem exposição ao inseticida metaflumizona foram mais longevas, sendo contabilizado 3,5 dias a mais na longevidade dessas fêmeas do que a da população exposta ao produto (Tabela 22). Quanto a longevidade dos machos, verificou-se efeito apenas do fator geração obtendo-se média de 5,6 na G<sub>2</sub> e 9,40 dias nas gerações G<sub>5</sub> e G<sub>7</sub> (Tabela 23).

A longevidade de machos e a razão sexual não foram afetadas nas populações avaliadas e apresentou variação entre 5,50 a 10,26 e 0,51 a 0,75, respectivamente (Tabela 23).

No teste com chance de escolha foi observado redução na porcentagem de parasitismo e de emergência de adultos de 16,3% e 24,1%, respectivamente, da população resistente ao inseticida metaflumizona (Tabela 24).

Tabela 23. Parasitismo (%); emergência (%); razão sexual; número de adultos emergidos por ovo; longevidade (Dias) de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) linhagem “guaraciaba” em ovos de duas populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) ao longo de seis gerações, em teste sem chance de escolha

População	Geração (Média ± erro padrão)		
	G <sub>2</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>7</sub>
	<b>Parasitismo</b>		
Suscetível	86,23 ± 2,04 a	86,15 ± 2,10 a	82,96 ± 2,95 a
MET <sup>1</sup>	64,40 ± 4,38 b	75,52 ± 2,09 b	78,65 ± 3,88 a
	<b>Emergência</b>		
Suscetível	97,74 ± 0,84 a	100,00 ± 0,00 a	99,25 ± 0,35 a
MET	81,13 ± 4,71 b	89,66 ± 5,66 b	77,23 ± 6,71 b
	<b>Razão sexual</b>		
Suscetível	0,67 ± 0,04 a	0,75 ± 0,02 a	0,57 ± 0,05 a
MET	0,62 ± 0,05 a	0,73 ± 0,05 a	0,51 ± 0,06 a
	<b>Parasitoides/ovo</b>		
Suscetível	1,41 ± 0,07 a	1,42 ± 0,04 a	1,22 ± 0,08 a
MET	1,28 ± 0,05 a	1,19 ± 0,03 b	1,01 ± 0,07 b
	<b>Longevidade de fêmea (dias)</b>		
Suscetível	6,68 ± 0,22 a	9,89 ± 0,35 a	13,42 ± 0,73 a
MET	6,23 ± 0,15 a	9,48 ± 0,53 a	9,89 ± 0,35 b
	<b>Longevidade de macho (dias)</b>		
Suscetível	5,76 ± 0,59 a	9,10 ± 0,48 a	10,26 ± 0,66 a
MET	5,50 ± 0,20 a	9,18 ± 0,68 a	9,09 ± 0,48 a

Fonte: Elaborada pelo autor. <sup>1</sup>MET= população com frequência de resistência ao inseticida metaflumizona. Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 24. Parasitismo (%) e emergência (%) de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) linhagem “guaraciaba” em ovos de duas populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em teste com chance de escolha na G<sub>7</sub>

População	Parâmetros (Média ± erro padrão)	
	% Parasitismo	% Emergência
Suscetível	93,75 ± 2,34 a	92,33 ± 2,24 a
MET <sup>1</sup>	84,70 ± 3,88 b	77,78 ± 2,94 b

Fonte: Elaborada pelo autor. <sup>1</sup>MET= população com frequência de resistência ao inseticida metaflumizona. Médias seguidas por mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de F ao nível de 5% de probabilidade.

## 4 DISCUSSÃO

Com base nos resultados obtidos e no conhecimento sobre o comportamento de *T. pretiosum* quanto à seleção hospedeira pode-se inferir que fêmeas parasitoides rejeitaram o hospedeiro “resistente” nos testes com e sem escolha e, os ovos desse hospedeiro, quando parasitados, afetaram parâmetros relacionados ao desenvolvimento da progênie. A característica exploratória dessa espécie parasitoide (RORIZ *et al.*, 2006; RUKMOWATI-BROTODJOJO e WALTER, 2006) indica que as fêmeas de *T. pretiosum*, por meio de algum sinal externo ou interno presente no ovo hospedeiro advindo de indivíduos que se desenvolveram sendo expostos ao inseticida, possibilitou sua distinção e consequente rejeição, em alguns momentos. No contato inicial com os ovos do hospedeiro, sinais são reconhecidos pelas antenas e para a inserção do ovipositor, as fêmeas precisam avaliar perfeitamente as condições externas e internas dos ovos dos hospedeiros (BESERRA e PARRA, 2003). Essa avaliação determina aceitação ou não do hospedeiro para oviposição, conforme a qualidade nutricional do mesmo (RORIZ *et al.*, 2006), garantindo o sucesso de sua prole (RORIZ *et al.*, 2006; RUKMOWATI-BROTODJOJO e WALTER, 2006).

Ensaio de sinergismo realizados em populações de *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) revelaram que a resistência à metaflumizona está associada a alterações metabólicas envolvendo aumento da atividade de esterases (SU e SUN, 2014; TIAN *et al.*, 2014) e monooxigenases (TIAN *et al.*, 2014). Não é novidade que essas alterações podem refletir em custo adaptativo associado à resistência (GOULD, 1998), onde recursos utilizados pelos processos fisiológicos do inseto são alocados e utilizados de maneira diferente, influenciando processos metabólicos e o desenvolvimento em linhagens resistentes e em evolução (DINGHA *et al.*, 2004; GUEDES *et al.*, 2006). O custo adaptativo já foi observado em *S. frugiperda* resistente aos inseticidas lufenuron e deltametrina (SILVA, 2004) e também em *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) resistente ao metaflumizona (SHEN *et al.*, 2017). Isso indica que, com a evolução da resistência, essas alterações metabólicas podem alterar componentes no córion (casca do ovo) ou no conteúdo interno do mesmo afetando o desenvolvimento das larvas parasitoides e ocasionando redução da emergência, no número de parasitoides/ovo e na longevidade de fêmeas emergidas.

O número de parasitoides emergidos por ovo da população de *S. frugiperda* exposta ao metaflumizona foi inferior com relação a população suscetível. O contato superficial e reconhecimento do hospedeiro (RORIZ *et al.*, 2006; RUKMOWATI-BROTODJOJO e WALTER, 2006) pode ter refletido na rejeição das fêmeas em ovipositar mais de um ovo no

hospedeiro diante da possibilidade de não ser possível garantir o desenvolvimento de sua prole. O indicativo de maior número de parasitoides/ovo e de fêmeas mais longevas na população suscetível demonstra que esta tem maior probabilidade de aumentar sua população em menor período de tempo que a população de *S. frugiperda* exposta ao metaflumizona.

A resistência a inseticidas ocorre por meio de mutações conferindo a substituição de alelos (THOMAZONI, 2012) e a pressão de seleção promove a variação genotípica na população inicial (GEORGHIOU, 1972; ROUSH e MCKENZIE, 1987). Trabalhos realizados com *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) sugerem a influência no parasitismo de *Diadegma semiclausum* Hellen (Hymenoptera: Ichneumonidae) e de *Cotesia plutellae* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Braconidae) quando as lagartas expostas ao parasitismo são provenientes de populações que apresentam resistência ao inseticida teflubenzuron (FURLONG e WRIGHT, 1993). Por outro lado, não foram constatados possíveis efeitos na aceitação de lagartas de *S. frugiperda* suscetível e resistente a lambda-cyhalothrin por *Campoletis flavicincta* (Ashmead) (Hymenoptera: Ichneumonidae) (THOMAZONI, 2012).

Um fato importante e que merece destaque é que mesmo ocorrendo interferência negativa no parasitismo de *T. pretiosum* nos ovos provenientes da população que apresentou frequência de resistência, este parasitoide ainda manteve desempenho satisfatório com média acima de 70%. Isto demonstra o potencial desse agente em reduzir os danos causados por *S. frugiperda* mesmo que a população apresente certo grau de resistência a metaflumizona, enfatizando assim a sua utilização como estratégia que favorece o manejo de resistência a inseticidas. Vale ressaltar ainda que no campo ocorre um processo “coevolutivo” integrando parasitoides x hospedeiros (HENTER e VIA, 1995) e que o mesmo não pôde ser avaliado em laboratório, nas mesmas condições que as do campo, devido à sua complexidade. Assim, a interferência nos parâmetros biológicos aferidos foi expressa na condição mais extrema. Em um cenário onde existem possibilidades do desenvolvimento de resistência fisiológica por parte do hospedeiro, os parasitoides desenvolvem, com o passar do tempo, algumas formas de “contra-atacar” essa resistência (BLUMBERG e LUCK, 1990; DEBOLT, 1991). A redução do parasitismo na população de *S. frugiperda* exposta ao metaflumizona ocorreu nas duas primeiras gerações e em populações selecionadas artificialmente. Sabe-se que, por meio da deriva genética, populações mantidas em laboratório podem sofrer alterações associadas ao controle genético resultando em efeitos de seleção em genótipos existentes e perda ao acaso de genótipos (BARTLETT, 1985).

Os resultados obtidos nesta pesquisa contribuem com informações úteis para o planejamento de possíveis estratégias de manejo com o intuito de retardar o desenvolvimento

de populações resistente de *S. frugiperda*. A interferência observada no desempenho de *T. pretiosum* ressalta a importância de como o uso errôneo de inseticidas pode prejudicar a ação dos inimigos naturais. Porém, o seu uso ainda pode ser adotado com sucesso em programas de manejo dentro MIP pois este parasitoide mantém sua eficiência mesmo quando há presença de populações resistentes em campo. A possibilidade de reversão da suscetibilidade quando o uso de inseticidas são adotados de forma correta (dados não publicados) demonstra indícios de que a associação de diversas táticas no MRI pode retardar a evolução da frequência de resistência.

## 5 CONCLUSÃO

Fêmeas de *T. pretiosum* reduzem seu desempenho se populações de *S. frugiperda* apresentarem frequência de resistência à metaflumizona porém, ainda assim mantêm média de parasitismo acima de 70,0%.

## 6 CONCLUSÕES FINAIS

Exposições sucessivas a deltametrina e *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki* tendem a selecionar e aumentar a frequência de indivíduos de *P. xylostella* resistentes.

A resistência média de *P. xylostella* à deltametrina pode ser reduzida por meio de aplicações rotacionadas de abamectina, *Bt* e indoxacarb e, a ausência de aplicações de deltametrina aumentam a suscetibilidade da população em curto prazo.

Ocorrem alterações biológicas associadas à resistência de *P. xylostella* à deltametrina e mantida sobre pressão de seleção à *Bt*.

Populações de *P. xylostella* da região da Serra da Ibiapaba-Ceará apresentam resistência média a Deltametrina e ausência de resistência a *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki*, clorotraniliprole e metaflumizona.

A resistência média de *P. xylostella* à deltametrina pode ser reduzida por meio de aplicações rotacionadas de clorotraniliprole, metaflumizona e *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki* e/ou apenas alternância de clorotraniliprole e *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki*.

Exposições sucessivas de metaflumizona e espinetoram tendem a selecionar e aumentar a frequência de indivíduos resistentes em populações de *S. frugiperda*.

A resistência moderada de *S. frugiperda* à metaflumizona pode ser revertida usando aplicações rotacionadas com espinetoram.

A ausência de aplicação de metaflumizona aumenta a suscetibilidade da população em curto prazo.

Há custo adaptativo associado à resistência de *S. frugiperda* à metaflumizona e espinetoram.

Fêmeas de *T. pretiosum* reduzem seu desempenho se populações de *S. frugiperda* apresentarem frequência de resistência à metaflumizona porém, ainda assim mantêm media de parasitismo acima de 70,0%.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A exposição de gerações sucessivas de *P. xylostella* à deltametrina, à *B. thuringiensis*, à clorantraniliprole e à metaflumizona, e de *S. frugiperda* exposta à metaflumizona e à espinetoram, no mínimo mantém ou aumenta a frequência de resistência a estes inseticidas. No entanto, se sucessivas gerações forem expostas a inseticidas com um modo de ação diferente, os níveis de resistência declinam de maneira quase idêntica à remoção completa da seleção de inseticidas. Isso mostra que a adoção de estratégia de Manejo de Resistência a Inseticidas (MRI) pode restabelecer a suscetibilidade de populações de *P. xylostella* e *S. frugiperda*.

Os resultados obtidos nesta pesquisa contribuem com informações úteis para o planejamento de possíveis estratégias de manejo com o intuito de retardar o desenvolvimento de populações resistentes de *P. xylostella* e de *S. frugiperda* à deltametrina e à metaflumizona, respectivamente. O MRI deve ser considerado um componente dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP), pois a associação torna-se um forte aliado. A possibilidade de reversão da suscetibilidade demonstra fortes indícios de que a ausência de inseticidas pode retardar a evolução da resistência e isso está ligado aos efeitos negativos relacionados à mutação associados a resistência.

A interferência observada no desempenho de *T. pretiosum* ressalta a importância de como o uso errôneo de inseticidas pode prejudicar a ação dos inimigos naturais. Porém, o seu uso ainda pode ser adotado com sucesso em programas de manejo dentro do MIP, pois este parasitoide mantém sua eficiência mesmo quando há presença de populações resistentes em campo.

Uma parte da pesquisa foi realizado na Universidade de Queensland (UQ), Brisbane, Austrália, sob a orientação do Prof. Michael J. Furlong. Os ensaios realizados possibilitaram a validação da implementação de um plano de gerenciamento de resistência a inseticidas para *P. xylostella* nas Ilhas Fiji (e em outros lugares do Pacífico), onde a resistência à deltametrina é generalizada. A pesquisa demonstrou que a adoção de uma estratégia pragmática no MRI pode manter populações de *P. xylostella* suscetíveis a determinados produtos químicos, promovendo assim a adoção de estratégias de manejo dentro do MIP.



## REFERÊNCIAS

- ABBAS, N.; SAMUILLAH; SHAD, S. A.; RAZAQ, M.; WAHEED, A.; ASLAM, M. A.; Resistance of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) to profenofos: relative fitness and cross resistance. **Crop Protection**, v. 58, p. 49-54, 2014.
- AGROFIT. **Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários**. 2019. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/servicos-e-sistemas/sistemas/agrofit>. Acesso em: 28 jan. 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAIS GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*. V. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARGENTINE, J. A., CLARK, J. M.; FERRO, D. N. Relative Fitness of Insecticide-Resistant Colorado Potato Beetle Strains (Coleoptera: Chrysomelidae). **Environmental Entomology**, v. 18, p. 705-710, 1989.
- ARNOUD, L.; HAUBAGE, E. Insecticide resistance enhances male reproduction success in a beetle. **Evolution**, v. 56, p. 2435-2444, 2002.
- ARNOUD, L.; BROSTAU, Y.; ASSIE, L. K.; GASPER, C.; HAUBRUGE, E. Increased fecundity of malathion-specific resistant beetles in absence of insecticide pressure. **Heredity**, v. 89, p. 425-429, 2002.
- ARTHROPOD PESTICIDE RESISTANCE DATABASE (APRD) - **Michigan State University**. 2019. Disponível em: <http://www.pesticideresistance.org>. Acesso em: 13 jan. 2019.
- ATKINSON, D. Temperature and organism size - a biological law for ectotherms. **Advances in Ecological Research**, v. 25, p. 1-58, 1994.
- ATTIQUE, M. N. R.; KHALIQ, A.; SAYYED, A. H. Could resistance to insecticides in *Plutella xylostella* (Lep.: Plutellidae) be overcome by insecticide mixtures? **Journal of Applied Entomology**, v. 130, p. 122-127, 2006.
- ATUMURIRAVA, F. A. **Diamondback moth resistance to commonly used insecticides and its management in Fiji**. 2015. 87 f. Thesis (PhD in Biological Sciences) - The University of Queensland, Brisbane, 2015.
- ATUMURIRAVA, F.; NAND, N.; FURLONG, M. J. Diamondback moth resistance to insecticides and its management in the Sigatoka Valley, Fiji. **Acta Horticulturae**, v. 1128, p. 125-130, 2016.
- BALASUBRAMANI, V.; SAYYED, A. H.; CRICKMORE, N. Genetic characterization of resistance to deltamethrin in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from India. **Journal of Economic Entomology**, v. 101, p. 1911-1918, 2008.

- BALESTRIN, A. L.; BORDIN, S. S. Uso de *Trichogramma pretiosum* no controle de *Spodoptera frugiperda* em lavoura de milho. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 2, p. 259-266, 2016.
- BARTLETT, A. C. Genetic changes during insect domestication. In: KING, E. C.; LEPLA, N. C. **Advances and challenges in insect rearing**. New Orleans: USDA/ARS, 1985. cap. 1, p. 2-8.
- BAXTER, S. W.; BADENES-PEREZ, F. R.; MORRISON, A.; HEIKO VOGEL, H.; CRICKMORE, N.; KAIN, W.; PING WANG, HECKEL, D. G.; JIGGINGS, C. D. Parallel Evolution of *Bacillus thuringiensis* toxin resistance in Lepidoptera. **Genetics**, v. 189, p. 675-679, 2011.
- BENTO, J. M. S.; NARDI, C. Bioecology and Nutrition versus Chemical Ecology: The Multitrophic Interactions Mediated by Chemical Signals. **Insect Bioecology and Nutrition for Integrated Pest Management**, p. 163, 2012.
- BERTICAT, C.; BONNET, J.; DUCHON, S.; AGNEW, P.; WEILL, M.; CORBEL, V. Costs and benefits of multiple resistance to insecticides for *Culex quinquefasciatus* mosquitoes. **BMC Evolutionary Biology**, v. 8, p.1-9, 2008.
- BESERRA, E. B.; DIAS, C. T. S.; PARRA, J. R. P. Distribution and natural parasitism of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs at different phenological stages of corn. **Florida Entomologist**, v. 85, p. 588-593, 2002.
- BESERRA, E. B.; PARRA, J.R.P. Comportamento de parasitismo de *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner e *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera, Trichogrammatidae) em posturas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 47, p. 205-209, 2003.
- BESERRA, E. B.; PARRA, J. R. P. Biologia e parasitismo de *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Plantner e *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 48, p. 119-126, 2004.
- BIELZA, P.; DENHOLM, I.; STERK, G.; LEADBEATER, A.; LEONARD, P.; JØRGENSEN, L. N. Declaration of Ljubljana-The impact of a declining European pesticide portfolio on resistance management. **Outlooks on Pest Management**, v. 19, p. 246-248, 2008.
- BLUMBERG, D.; LUCK, R. F. Differences in the rates of superparasitism between two strains of *Comperiella bifasciata* (Howard) (Hymenoptera: Encyrtidae) parasitizing *California red scale* (Homoptera: Diaspididae): an adaptation to circumvent encapsulation. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 83, p. 591-597, 1990.
- BOIVIN, T.; CHABERT D'HIERES, C.; BOUVIER, J. C.; BESLAY, D.; SAUPHANOR, B. Pleiotropy of insecticide resistance in the codling moth, *Cydia pomonella*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 99, p. 381-386, 2001.

BORTOLI, C. P. **The investigation of factors potentially involved in resistance to *Bacillus thuringiensis* in native *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) populations.** 107 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

BUTT, B. A.; CANTU, E. **Sex determination of lepidopterous pupae.** Washington, USDA, 1962, 7p.

CAO, G. C.; HAN, Z. J. Tebufenozide resistance selected in *Plutella xylostella* and its cross-resistance and fitness cost. **Pest Management Science**, v. 62, p. 746-751, 2006.

CARRIÈRE, Y.; DELAND, J. P.; ROFF, D. A.; VINCENT, C. Life-history costs associated with the evolution of insecticide resistance. **Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences**, v. 258, p. 35-40, 1994.

CARRIÈRE, Y.; ELLERS-KIRK, C.; LIU, Y. B. .; SIMS, M. A.; PATIN, A. L. .; DENNEHY, T. J.; TABASHNIK, B. D. Fitness costs and maternal effects associated with resistance to transgenic cotton in the pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 94, p. 1571-1576, 2001.

CARRIÈRE, Y.; ELLERS-KIRK, C.; BIGGS, R.; HIGGINSON, D. M.; DENNEHY, T. J.; TABASHNIK, B.E. Effects of gossypol on fitness costs associated with resistance to *Bt* cotton in pink bollworm. **Journal of Economic Entomology**, v. 97, p. 1710-1718, 2004.

CASTELO BRANCO, M.; FRANÇA, F. H.; BÔAS, G. L. V. **Diamondback Moth *Plutella xylostella*: Arthropods of Economic Importance.** Embrapa Hortaliças, Brasília, DF, Brazil. 1997.

CASTELO BRANCO, M.; FRANÇA, F. H.; PONTES, L. A.; AMARAL, P. S. T. Avaliação da suscetibilidade a inseticidas em populações da traça-das-crucíferas de algumas áreas do Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 549-552, 2003.

CHEN, X. D.; NAKASUJI, F. Diminished egg size in fenvalerate resistant strains of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 39, p. 335-341, 2004.

CLOYD, R. A. Pesticide mixtures and rotations: Are these viable resistance mitigating strategies. **Pest Technology**, v. 4, p. 14-18, 2010.

COUVILLON, M. J., HUGHES, W. O. H. .; PEREZ-SATO, J. A.; MARTIN, S. J.; ROY, G. G. F. ; RATNIEKS, F. L. W. Sexual selection in honey bees: colony variation and the importance of size in male mating success. **Behavioral Ecology**, v. 21, p. 520-525, 2010.

COYNE, F. P. Proper use of insecticides. **British Medical Journal**, v. 2, p. 911-912, 1951.

CRUZ, I.; FIGUEIREDO, M. L. C.; MATOSO, M. J. **Controle biológico de *Spodoptera frugiperda* utilizando o parasitóide de ovos *Trichogramma*.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1999. 40p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 30).

CRUZ, I. **Manejo da Resistência de Insetos-Praga a Inseticidas, com Ênfase em *Spodoptera frugiperda* (Smith)**. Sete Lagoas, MG: Embrapa - CNPS, 2002, 30 p. (Embrapa Milho e Sorgo, 21).

CRUZ, I.; MONTEIRO, M.A.R. Controle biológico da lagarta do cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* utilizando o parasitóide de ovos de *Trichogramma pretiosum*. Comunicado Técnico 114: **Embrapa Milho e Sorgo**, 4p., 1ª ed., 2004.

DEBOLT, J. W. Behavioral avoidance of encapsulation by *Leiophoron uniformis* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Lygus* spp. (Hemiptera: Miridae): Relationship between host age, encapsulating ability, and host acceptance. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 84, p. 444-446, 1991.

DENNEHY, T. J.; NYROP, J. P.; MARTINSON, T. E. Characterization and exploitation of instability of spider mite resistance to acaricides. In: GREEN, M. B., MOBERG, W. K. & LEBARON, H. **Managing resistance to agrochemicals: fundamental and practical approaches to combating resistance**. [eds.]. American Chemical Society, Washington, DC., 1990, p. 77-91.

DINGHA, B. N.; MOAR, W. J.; APPEL, A. G. Effects of *Bacillus thuringiensis* Cry1C toxin on the metabolic rate of Cry1C resistant and susceptible *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). **Physiological Entomology**, v. 29, p. 409-418, 2004.

DMITRIEW, C.; ROWE, L. Resource limitation, predation risk and compensatory growth in a damselfly. **Oecologia**, v. 142, p. 150-154, 2005.

DOURADO, P. M. **Resistência de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a spinosad no Brasil**. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, 2009.

ENDERSBY, N. M.; RIDLAND, P. M.; HOFFMAN, A. A. The effects of local selection versus dispersal on insecticide resistance patterns: longitudinal evidence from diamondback moth (*Plutella xylostella* [Lepidoptera: Plutellidae]) in Australia evolving resistance to pyrethroids. **Bulletin of Entomological Research**, v. 98, p. 145-157. 2008.

FERRE, J.; VAN RIE, J. Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, v. 47, p. 501-533, 2002.

FURLONG, M. J. **Studies on acylurea-resistance in diamondback moth and effects of Teflubenzuron on two larval parasitoids**. *PhD.Thesis*. University of London, Department of Biology, 1993.

FURLONG, M. J.; SHI, Z. H.; LIU, Y. Q.; GUO, S. J.; LU, Y. B.; LIU, S. S.; ZALUCKI, M. P. Experimental analysis of the influence of pest management practice on the efficacy of an endemic arthropod natural enemy complex of the diamondback moth. **Journal of Economic Entomology**, v. 97, p. 1814-1827, 2004.

FURLONG, M. J.; JU, K. H.; SU, P. W.; CHOL, J. K.; IL, R. C.; ZALUCKI, M. P. Integration of endemic natural enemies and *Bacillus thuringiensis* to manage insect pests of *Brassica* crops in North Korea. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 125, p. 223-238, 2008.

FURLONG, M. J.; WRIGHT, D. J.; DOSDALL, L. M. Diamondback moth ecology and management: Problems, progress and prospects. **Annual Review of Entomology**, v. 58, p. 517-541, 2013.

FURLONG, M. J. Knowing your enemies: Integrating molecular and ecological methods to assess the impact of arthropod predators on crop pests. **Insect Science**, v. 22, p. 6-19, 2015.

GASSMANN, A.J.; CARRIÉRE, Y.; TABASHNIK, B.E. Fitness costs of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, v. 54, p. 147-63, 2009.

GEORGHIOU, G. P. The evolution of resistance to pesticide. **Annual Review of Ecological System**, v. 3, p. 133-168, 1972.

GEORGHIOU, G. P. Management of resistance in arthropods. In: GEORGHIOU, G. P.; SAITO, T. (Ed.). **Pest resistance to pesticides**. New York: Plenum Press, 1983, p. 769-792.

GUEDES, R. N. C.; OLIVERIA, E. E.; GUEDES, N. M. P.; RIBEIRO, B.; SERRÃO, J. E. Cost and mitigation of insecticide resistance in the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Physiological Entomology**, v. 31, p. 30-38, 2006.

GOMES, M. D. A. **Sustentabilidade de sistemas de cultivo irrigados orgânico e convencional de base familiar**. 2015. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

GOULD, F. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. **Annual Review of Entomology**, v. 43, p. 701-726, 1998.

GUEDES, R. N. C.; OLIVERIA, E. E.; GUEDES, N. M. P.; RIBEIRO, B.; SERRÃO, J. E. Cost and mitigation of insecticide resistance in the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Physiological Entomology**, v. 31, p. 30-38, 2006.

GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. 1976. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, p. 487-488, 1976.

GUNNING, R.V.; DANG, H. T.; KEMP, F. C.; NICHOLSON, I. C.; MOORES, G. D.; New resistance mechanism in *Helicoverpa armigera* threatens transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac toxin. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, p. 2558-2563, 2005.

GUO, L.; LIANG, P.; ZHOU, X.; GAO, X. Novel mutations and mutation combinations of ryanodine receptor in a chlorantraniliprole resistant population of *Plutella xylostella* (L.). **Scientific reports**, v. 4, p. 1-7, 2014.

GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. 1976. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, v. 69, p. 487-488, 1976.

GRZYWACZ, D.; ROSSBACH, A.; RAUF, A.; RUSSELL, D. A.; SRINIVASAN, R.; SHELTON, A. M. Current control methods for diamondback moth and other *Brassica* insect pests and the prospects for improved management with lepidopteran-resistant *Bt* vegetable brassicas in Asia and Africa. **Crop Protection**, v. 29, p. 68-79, 2010.

HEAD, G. P.; GREENPLATE, J. The design and implementation of insect resistance management programs for Bt crops. **GM Crops and Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain**, v. 3, p. 1-10, 2012.

HENTER, H. J.; VIA, S. The potential for coevolution in a host parasitoid system. I. genetic variation within an aphid population in susceptibility to a parasitic wasp. **Evolution**, v. 49, p. 427-438, 1995.

HOFFMANN-CAMPO, C. B.; OLIVEIRA, E. B.; MOSCARDI, F. **Criação massal da lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*)**. EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa da Soja. Londrina, Documentos 10, 21p. 1985.

HOFFMANN, A. A.; PARSONS, P. A. **Evolutionary genetics and environmental stress**. New York, Oxford University Press, 1991. 284p.

HOLLINGSWORTH, R.G.; TABASHNIK, B. E.; JOHNSON, M. W.; MESSING, R. H.; ULLMAN, D. E. Relationship between susceptibility to insecticides and fecundity across populations of cotton aphid (Homoptera: Aphididae). **Journal of Economic Entomology**, v. 90, p. 55-58, 1997.

HONDA, K. Hibernation and migration of diamondback moth in northern Japan. In: **Diamondback moth and other crucifer pests: proceedings of the second international workshop. AVRDC, Taiwan**. 1992. p. 43-50.

HONEK, A.; DIXON, A. F. G.; MARTINKOVA, Z. Body size, reproductive allocation, and maximum reproductive rate of two species of aphidophagous Coccinellidae exploiting the same resource. Entomol. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 127, p. 1-9, 2008.

HU, Z.; CHEN, Q.; LI, H.; YIN, Z. F. FENG, X. Identification of a novel cytochrome P450 gene, CYP321E1 from the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) and RNA interference to evaluate its role in chlorantraniliprole resistance. **Bulletin of Entomological Research**, v. 104, p. 716-723, 2014.

INSECTICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE (IRAC). **The diamondback moth, *Plutella xylostella*. Resistance management is the key to its control**. 2013. Disponível em: <http://www.iraonline.org/documents/plutella-xylostella-irm-poster/?ext=pdf>. Acesso em: 14 Jan. 2019.

JAKKA, S. R. K.; KNIGHT, V. R.; JURAT-FUENTES, J. L. Fitness costs associated with field-evolved resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 107, p. 342-351, 2014.

KHAKAME, S. K.; WANG, X.; WU, Y. Baseline toxicity of metaflumizone and lack of cross resistance between indoxacarb and betaflumizone in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 106, p. 1423-1429, 2013.

KIRSCH, K.; SCHMUTTERER, H. Low efficacy of a *Bacillus thuringiensis* (Berl.) formulation in controlling the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in the Philippines. **Journal of Applied Entomology**, v. 105, p. 249-255, 1988.

KONO, S. Reproduction of dicofol susceptible and resistant strains in the two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. **Japan Journal of Applied Entomology and Zoology**, v. 31, p. 333-338, 1987.

KONOPKA, J. K., J. M. SCOTT, AND J. N. MCNEIL. Costs of insecticide resistance in *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 105, p. 872-877, 2012.

KWON, D. H.; CHOI, B-R.; PARK, H. M.; LEE, S. H.; MIYATA, T.; MARSHALL, J.; LEE, S. H. Knockdown resistance allele frequency in Field population of *Plutella xylostella* in Korea. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 80, p. 21-30, 2004.

LEATHER, S. R. Size, reproductive potential and fecundity in insects - things aren't as simple as they seem. **Oikos**, v. 51, p. 286-389, 1988.

LI, T. W.; GAO, X. W.; ZHENG, B. Z.; LIANG, P. Study on genetics of avermectins resistance and population fitness in *Plutella xylostella*. **Acta Entomologica Sinica**, v. 43, p. 255-263, 2000.

LI, Z. M.; LIU, S. S.; LIU, Y. Q.; YE, G. Y. Temperature-related fitness costs of resistance to spinosad in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 97, p. 627-635, 2007.

LIANG, G. M.; CHEN, W.; LIU, T. X. Effects of three neem-based insecticides on diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Crop Protection**, v. 22, p. 333-340, 2003.

LIU, S. S.; CHEN, F. Z.; ZALUCKI, M. P. Development and survival of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) at constant and alternating temperatures. **Environmental Entomology**, v. 31, p. 221-231, 2002.

LIU, F.; MIYATA T.; WU, Z. J.; LI, C. W.; WU, G.; ZHAO, S. X. Effects of temperature on fitness costs, insecticide susceptibility and heat shock protein in insecticide-resistant and -susceptible *Plutella xylostella*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 91, p. 45-52, 2008.

LIU, X.; NING, Y. B.; WANG, H. Y.; WANG, K. Y. Cross-resistance, mode of inheritance, synergism, and fitness effects of cyantraniliprole resistance in *Plutella xylostella*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 157, p. 271-278, 2015.

MARTINAZZO, T. PIETROWSKI, V.; CORDEIRO, E. S.; ECKSTEIN, B.; GRISA, S. Liberação de *Trichogramma pretiosum* para controle biológico de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, p. 1657-1660, 2007.

MARTINS, A. J.; RIBEIRO, C. D.; BELLINATO, D. F.; PEIXOTO, A. A.; VALLE, D.; LIMA, J. B. Effect of insecticide resistance on development, longevity and reproduction of field or laboratory selected *Aedes aegypti* populations, **Plos One**, v. 7, p. 1-9, 2012.

- MEDEIROS, P. T.; FERREIRA, M. N.; MARTINS, E. S.; GOMES, A. C. M. M.; FALCÃO, R.; DIAS, J. M. C. S.; MONNERAT, R. G. Seleção e caracterização de estirpes de *Bacillus thuringiensis* efetivas no controle da traça-das-crucíferas *Plutella xylostella*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1145-1148, 2005.
- MONTANHA, F. P.; PIMPÃO, C. T. Efeitos toxicológicos de piretróides (cipermetrina e deltametrina) em peixes. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 18, p. 1-58, 2012.
- MÜLLER, C.; ARAND, K. Trade-offs in oviposition choice? Food-dependent performance and defence against predators of a herbivorous sawfly. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 124, p. 153-159, 2007.
- MURRAY, D.A.H.; LLOYD R.J.; HOPKINSON, J.E. Efficacy of new insecticides for management of *Helicoverpa* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) in Australian grain crops. **Australian Journal of Entomology**, v. 44, p. 62-67, 2005.
- NAVARRO, R.; MARCANO, R. 1999. Preferencia de *Trichogramma pretiosum* Riley y *T. atopovirilia* Oatman y Platner por huevos de *Helicoverpa zea* (Boddie) de diferentes edades. **Boletín de Entomología Venezolana**, v. 14, p. 87-93, 1999.
- NEHARE, S.; MOHARIL, M. P.; GHODKI, B. S.; LANDE, G. K.; BISANE, K. D.; THAKARE, A. S.; BARKHADE, U. P. Biochemical analysis and synergistic suppression of indoxacarb resistance in *Plutella xylostella* (L.). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 13, p. 91-95, 2010.
- OKUMA, D.M. **Genetic and molecular basis of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad**. 2015. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciências - Entomologia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2015.
- OLIVEIRA, R. C. M.; PASTORI, P. L.; COUTINHO, C. R.; JUVENAL, S. O.; AGUIAR, C. V. S. Natural parasitism of *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Crambidae) eggs on tomato (Solanales: Solanaceae) in the Northeast region, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 80, ahead of print, 2020.
- ONSTAD, D. W. **Insect Resistance Management: Biology, Economics and Prediction**. Academic Press, London, UK, 2008. 301p.
- OLIVEIRA, F. E. B. **Suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a metaflumizone na cultura do milho: bases para o manejo da resistência**. 2008. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.
- OLIVEIRA, A. C.; SIQUEIRA, H. A. A.; OLIVEIRA, J. V.; SILVA, J. E.; MICHEREFF, FILHO, M. Resistance of Brazilian diamondback moth populations to insecticides. **Scientia Agricola**, v. 68, p. 154-159, 2011.
- PARDO-LOPEZ, L.; SOBERON, M.; BRAVO, A. *Bacillus thuringiensis* insecticidal threedomain Cry toxins: mode of action, insect resistance and consequences for crop protection. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 37, p. 3-22, 2013.



PARRA J.R.P.; LOPES, J.R.S.; BIRAL, E.; GOUVEIA, P.R.C. Número ideal de ovos de *Anagasta kuehniella* (Zeller 1879) por caixa de criação para pesquisas com *Trichogramma* spp. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 18, p. 391-402, 1989.

PEREIRA, F. F.; BARROS, R., PRATISSOLI, D. Desempenho de *Trichogramma pretiosum* Riley e *T. exigum* Pinto e Planter (Hymenoptera: Trichogrammatidae) submetidos a diferentes densidades de ovos de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Ciência Rural**, v. 34, p. 1669-1674, 2004.

PECK, S. L.; GOULD, F.; ELLNER, S. P. Spread of resistance in spatially extended region of transgenic cotton: implications for management of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 92, p. 1-6, 1999.

PRATISSOLI, D.; VIANNA, U. R.; REIS, E. F.; ANDRADE, G. S.; SILVA, A. F. Influência da densidade de ovos de *Spodoptera frugiperda* em alguns aspectos biológicos de três espécies de *Trichogramma*. **Revista Brasileira de milho e sorgo**, v. 4, p.1-7, 2005.

PUINEAN, A. M.; LANSDELL, S. J.; COLLIINS, T.; BIELZA, P.; MILLAR, A. A nicotinic acetylcholine receptor transmembrane point mutation (G275E) associated with resistance to spinosad in *Frankliniella occidentalis*. **Journal of Neurochemistry**, v. 124, p. 590-601, 2013.

RAZAQ, M.; SUHAJIL, A.; ARIF, M. J.; ASLAM, M.; SAYYED, A. H. Effect of rotational use of insecticides on pyrethroids resistance in *Helicoverpa armigera* (Lep.: Noctuidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 131, p. 460-465, 2007.

RESENDE, D. L. M. C.; CIOCIOLA, A. I. Capacidade de parasitismo de *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner, 1983 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) em ovos de *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 20, p. 421-424, 1996.

RIBEIRO, L. M. S.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; FERREIRA, H. N.; TEIXEIRA, A. A. C.; SIQUEIRA, H. A. A. Fitness costs associated with field-evolved resistance to chlorantraniliprole in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 104, p. 88-96, 2013.

RIBEIRO, R. S. **Monitoramento da suscetibilidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) a inseticidas diamidas no Brasil**. 2014a. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2014.

RILEY, D. G; SPARKS, A. **Insecticide resistance management for diamondback moth in Georgia**. Cooperative extension, college of agriculture and environmental science & family and consumer sciences, University of Georgia. Circular 899, 2006. Disponível em: <https://athenaeum.libs.uga.edu/bitstream/handle/10724/12161/C899.pdf?sequence=1>. Acesso em 15 jan. 2019.

RIBEIRO, L. M. S.; WANDERLEY-TEIXEIRA, V.; FERREIRA, H. N.; TEIXEIRA, A. A. C.; SIQUEIRA, H. A. A. Fitness costs associated with field-evolved resistance to chlorantraniliprole in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 104, p. 88-96, 2013.

RORIZ, V.; OLIVEIRA, L.; GARCIA, P. Host suitability and preference studies of *Trichogramma cordubensis* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Biological Control**, v. 36, p. 331-336, 2006.

ROUSH, R.T.; MCKENZIE, J.A. Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 32, p. 361-380, 1987.

ROUSH, R. T. Designing resistance management programs: how can you choose? **Pesticide Science**, v. 26, p. 423-441, 1989.

ROUSH, R. T.; DALY, J. C. The role of population genetics in resistance research and management. In: Roush, R. T. & Tabashnik, B. E. [eds.], **Pesticide resistance in arthropods**. Chapman and Hall, New York, 1990, p. 97-152.

RUKMOWATI-BROTODJOJO, R. R.; WALTER, G. H. Oviposition and reproductive performance of a generalist parasitoid (*Trichogramma pretiosum*) exposed to host species that differ in their physical characteristics. **Biological Control**, v. 39, p. 300-312, 2006.

SÁ, L. A. N, de. **Bioecologia de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879, visando avaliar o seu potencial para controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith, 1797) e *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) em milho**. 107p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 1991.

SAITO, M. L. As plantas praguicidas. **Informativo Meio Ambiente e Agricultura**, v. 12, p. 1-4, 2004.

SALGADO, V. L.; SAAR, R. Desensitizing and non-desensitizing subtypes of alpha bungarotoxin-sensitive nicotinic acetylcholine receptors in cockroach neurons. **Journal of Insect Physiology**, v. 50, p. 867-879, 2004.

SALGADO, V.L.; SPARKS, T.C. The spinosyns: chemistry, biochemistry, mode of action, and resistance. In: GILBERT, L.I.; LATROU, K.; GILL, S.S. (Ed.). **Comprehensive molecular insect science**. Boston: Elsevier, p. 137–173. 2005.

SANTOS, V. C. **Resistência de populações pernambucanas de traças-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L., 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) a inseticidas**. 2010. 42 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

SARFRAZ, M.; KEDDIE, B. A. Conserving the efficacy of insecticides against *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Applied Entomology**, v. 129, p. 149-157, 2005.

SAYYED, A. H.; WRIGHT, D. J. Fitness costs and stability of resistance to *Bacillus thuringiensis* in a field population of the diamondback moth *Plutella xylostella* L. **Ecological Entomology**, v. 26, p. 502-508, 2001.

SAYYED, A. H.; ATTIQUE, M. N. R.; KHALIQ, A.; WRIGHT, D. J. Inheritance of resistance to deltamethrin in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from Pakistan. **Pest Management Science**, v. 61, p. 636-642, 2005.

SAYYED, A. H.; WRIGHT, D. J. Genetics and evidence for an esterase-associated mechanism of resistance to indoxacarb in a field population of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Pest Management Science**, v. 62, p.1045-1051, 2006.

SAYYED, A. H.; AHMAD, M.; CRICKMORE, N. Fitness costs limit the development of resistance to indoxacarb and deltamethrin in *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 101, p. 1927-1933, 2008.

SAWICKI, R. M.; DENHOLM, I. Management of resistance to pesticides in cotton pests. **Tropical Pest Management**, v. 33, p. 262-272, 1987.

SCHULER, D. H.; MARTINEZ-TORRES; THOMPSON, A. J.; DENHOLM, I.; DEVONSSHIRE, A. L.; DUCE, I. R.; WILLIAMSON, M. S. Toxicological, electrophysiological and molecular characterisation of knockdown resistance to pyrethroid insecticides in diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 59, p. 169-182, 1998.

SHEN, J.; WU, Y. Resistance to *Helicoverpa armigera* to insecticides and its management. **China Agricultural Press**, pp. 1-88, 1995.

SHEN, J.; LI, D.; ZHANG, S.; ZHU, X.; WAN, H.; LI, J. Fitness and inheritance of metaflumizone resistance in *Plutella xylostella*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 139, p. 53-59, 2017.

SHEPARD, B. M.; HAMMIG, M. D.; CARNER, G. R.; OOI, P. A. C.; SMITH, J. P.; DILTS, R.; RAUF, A. **Implementing integrated pest management in developing and developed countries**. In *Integrated pest management: dissemination and impact*, ed. R Peshin, AK Dhawan, 2009, pp. 275-305.

SIAL, A. A.; BRUNNER, J. F. Selection for resistance, reversion towards susceptibility and synergism of chlorantraniliprole and spinetoram in obliquebanded leafroller, *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae). **Pest Management Science**, v. 68, p. 462-468, 2012.

SILVA, R. F. **Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) exposta a inseticidas durante a fase larval**. 58 p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2004.

SILVA, J. E.; SIQUEIRA, H. A. A.; SILVA, T. B. M.; CAMPOS, M. R.; BARROS, R. Baseline susceptibility to chlorantraniliprole of Brazilian populations of *Plutella xylostella*. **Crop Protection**, v. 35, p. 97-101, 2012.

SMITH, D. B.; SEARS, M. K. Evidence for dispersal of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), into southern Ontario. **Proceedings of the Entomological Society of Ontario**, v.111, p. 21-28, 1982.

SPARKS, T. C.; DRIPPS, J. E.; WATSON, G. B.; PAROONAGIAN. Resistance and cross-resistance to the spinosyns - A review and analysis. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 102, p. 1-10, 2012.

STERN, V. M.; SMITH, R. F.; VAN DEN BOSCH, R.; HAGEN, K. S. The integrated control concept. **Hilgardia**, v. 29, p. 81-101, 1959.

STEINBACH, D.; MORITZA, G.; NAUENB, R. Fitness costs and life table parameters of highly insecticide-resistant strains of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) at different temperatures. **Pest Management Science**, v. 73, p. 1789-1797, 2017.

SU, J.; SUN, X-X. High level of metaflumizone resistance and multiple insecticide resistance in field populations of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) in Guangdong Province, China. **Crop Protection**, v. 61, p. 58-63, 2014.

SUN, C. N.; WU, T. K.; CHEN, J. S.; LEE, W. T. Insecticide resistance in diamondback moth, In Talekar, N.S and Griggs, T.D. (Ed.), **Diamondback Moth Management: Proc. 1<sup>st</sup> Intern. Workshop**. Asian Vegetable Research and development Centre, Sanhua, Taiwan, 1986, p. 359-371.

SUN, J.; LIANG, P.; GAO, X. W. Cross-resistance patterns and fitness in fufenozide-resistant diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Pest Management Science**, v. 68, p. 285-289, 2012.

SUDO, M.; TAKAHASHI, D.; ANDOW, D. A.; SUZUKI, Y.; YAMANAKA, T. Optimal management strategy of insecticide resistance under various insect life histories: Heterogeneous timing of selection and interpatch dispersal. **Evolutionary Applications**, v. 11, p. 271-283, 2017.

TABASHNIK, B. E. Modeling and evaluation management tactics. p. 153- 182. In: ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (Ed.). **Pesticides resistance in arthropod**. New York: Chapman & Hall, 1990. p.153-182.

TABASHNIK, B. E.; FINSON, N.; GROETERS, F. R.; MOAR, W. J.; JOHNSON, M.W.; LUO, K.; ADANG, M. J. Reversal of resistance to *Bacillus thuringiensis* in *Plutella xylostella*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 91, p. 4120-4124, 1994.

TABASHNIK, B. E.; VAN RENSBURG, J. B.; CARRIERE, Y. Field-evolved insect resistance to Bt crops: definition, theory, and data. **Journal of Economic Entomology**, v. 102, p. 2011-2025, 2009.

TALEKAR N. S.; SHELTON, A. M. Biology, ecology and management of diamondback moth. **Annual Review Entomology**, v. 38, p. 275-301, 1993.

THOMAZONI, D. Efeito da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambda-cyhalothrin na interação com o milho geneticamente modificado (MON810) e na resposta imunológica ao parasitismo por *Campoletis aff. flavicincta* (Hymenoptera: Ichneumonidae). 122p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

TIAN, X.; SUN, X.; SU, J. Biochemical mechanisms for metaflumizone resistance in beet armyworm, *Spodoptera exigua*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 113, p. 8-14, 2014.

TROCZKA, B. J.; WILLIAMSON, M. S.; FIELD, L. M.; DAVIES, T. G. E. Rapid selection for resistance to diamide insecticides in *Plutella xylostella* via specific amino acid polymorphisms in the ryanodine receptor. **NeuroToxicology**, v. 60, p. 224-233, 2017.

ULMER, B.; GILLOTT, C.; WOODS, D.; ERLANDSON, M. (2002) Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), feeding and oviposition preferences on glossy and waxy *Brassica rapa* (L.) lines. **Crop Protection**, v. 21, p. 327-331, 2002.

VACARI, A. M. **Caracterização biológico-comportamental de *Podisus nigrispinus* (DALLAS, 1851) predando *Plutella xylostella* (L., 1758)**. 2009. 102f. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2009.

WANG, D.; QIU, X.; WANG, H.; QIAO, K.; WANG, K. Reduced fitness associated with spinosad resistance in *Helicoverpa armigera*. **Phytoparasitica**, v. 38, p. 103-110, 2010.

WANG, R.; WU, Y. D. Dominant fitness costs of abamectin resistance in *Plutella xylostella*, **Pest Management Science**, v. 70, p. 1872-1876, 2014.

WANGEN, D. R. B.; PEREIRA-JUIOR, P. H. S.; SANTANA, W. S. Controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) na cultura do milho com inseticidas de diferentes grupos químicos. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, p. 801-808, 2015.

YU, S. J.; NGUYEN, S. N.; ALBO-ELGHAR, G. E. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 77, p. 1-11, 2003.

YU, S. J. Insensitivity of acetylcholinesterase in a field strain of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 84, p. 135-142, 2006.

YU, S. J.; MCCORD, E. J. Lack of cross-resistance to indoxacarb in insecticide-resistant *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). **Pest Management Science**, v. 63, p. 63-67, 2007.

ZACHRISSON, B.; PARRA, J.R.P. Capacidade de dispersão de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 para o controle de *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 em soja. **Scientia Agricola**, v. 55, p. 133-137, 1998.

ZAGO, H. B.; SIQUEIRA, H. A.; PEREIRA, E. J.; PICANÇO M. C.; BARROS, R. Resistance and behavioural response of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) populations to *Bacillus thuringiensis* formulations. **Pest Management Science**, v. 70, p. 488-495, 2013.

ZALUCKI, M. P.; ADAMSON, D.; FURLONG, M. J. The future of IPM: whither or wither? **Australian Journal of Entomology**, v. 48, p. 85-96, 2009.

ZALUCKI, M. P.; SHABBIR, A.; SILVA, R.; ADAMSON, D.; LIU, S. S.; FURLONG, M. J. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella*: Just how long is a piece of string? **Journal of Economic Entomology**, v. 105, p. 1115-1129, 2012.

ZHANG, L. I.; WU Z. L.; WANG K. F.; LIN, Q.; ZHUANG, H.; M AND, W. U. G. Trade-off between thermal tolerance and insecticide resistance in *Plutella xylostella*. **Journal of Ecology and Evolution**, v. 5, n. 2, p.515-530, 2015.

ZHAO, J-Z.; HILDA L COLLINS, H. L.; SHELTON, A. M. Testing insecticide resistance management strategies: mosaic versus rotations. **Pest Management Science**, v. 66, p. 1101-1105, 2010.

ZUCCHI, R. A.; MONTEIRO, R. C. O gênero *Trichogramma* na América do Sul, p.41-66. In.: PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A (Eds). **Trichogramma e o controle biológico aplicado**. Piracicaba, FEALQ, 324p. 1997.