



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

ANTONIA DÉBORA DOS SANTOS PONTES ROCHA

**COMPARATIVO DE PARÂMETROS BIOLÓGICOS E DA EVOLUÇÃO DA
RESISTÊNCIA A DELTAMETRINA DE POPULAÇÕES DE *Plutella xylostella*
(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) DO BRASIL E DAS ILHAS FIJI**

FORTALEZA, CEARÁ

2022

ANTONIA DÉBORA DOS SANTOS PONTES ROCHA

**COMPARATIVO DE PARÂMETROS BIOLÓGICOS E DA EVOLUÇÃO DA
RESISTÊNCIA A DELTAMETRINA DE POPULAÇÕES DE *Plutella xylostella*
(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) DO BRASIL E DAS ILHAS FIJI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como um dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Patrik Luiz Pastori, *D. Sc.*

Coorientadora: Marianne Gonçalves Barbosa, *D. Sc.*

FORTALEZA, CEARÁ

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R571c Rocha, Antonia Débora dos Santos Pontes.
Comparativo de parâmetros biológicos e da evolução da resistência de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) do Brasil e das Ilhas Fiji / Antonia Débora dos Santos Pontes Rocha. – 2022.
39 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Patrik Luiz Pastori.

Coorientação: Profa. Dra. Marianne Gonçalves Barbosa.

1. Traça-das-crucíferas. 2. Controle químico. 3. Custo adaptativo. 4. Ciclo biológico. I. Título.

CDD 630

ANTONIA DÉBORA DOS SANTOS PONTES

**COMPARATIVO DE PARÂMETROS BIOLÓGICOS E DA EVOLUÇÃO DA
RESISTÊNCIA A DELTAMETRINA DE POPULAÇÕES DE *Plutella xylostella*
(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) DO BRASIL E DAS ILHAS FIJI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Agronomia do Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Ceará,
como um dos requisitos para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Aprovada em: 29/01/2022.

BANCA EXAMINADORA

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

Marianne Gonçalves Barbosa, *D. Sc.* (Coorientadora)
IN Soluções Biológicas LTDA

Camila Santos Teixeira, *M. Sc.*
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPe)

Thais Paz Pinheiro André, Eng^a. Agr^a.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Meus pais, Celma e de Assis. A minha irmã
Suzana. Ao meu esposo Jhonny de Sousa.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, pela oportunidade de estar vivendo esse momento importante e por dar o sustento necessário em todas as situações adversas.

Aos meus pais, por serem minha base, pela educação que me deram e por todo amor expressado em palavras e ações durante todo o meu crescimento e até hoje.

À minha irmã, pela parceria, pela amizade e pelos momentos da infância que perduram até hoje.

Ao meu esposo, pelo seu amor, cuidado e companheirismo desde que nos conhecemos, por acreditar em mim e me dar forças em todos os momentos.

A todos meus familiares, avós, tias (os), primas (os), padrinhos, madrinhas, sogro (a) pelo incentivo e palavras positivas.

A todos (as) os ex e atuais integrantes do Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA), em especial, Adson Ávila, Camila Teixeira, Carlos Souto, Caroliny Bento, Cristiane Ramos, Dalila Martins, Karolina Rafrana, Laura Carla, Lorena Girão, Lorena Karen, Marianne Gonçalves, Raimundo Henrique, Suyanne Araujo, Thais Mota, Thais Paz.

À Cintia Raianny, Thais Paz e Thais Mota pela amizade linda que construímos, pelos momentos que passamos juntas, por todo apoio que passamos uma a outra, nossa amizade é valiosa e se estenderá para além da UFC.

À Marianne Gonçalves, por toda ajuda, paciência e dedicação, sou muito grata por aprender tanto com você. Você é uma grande pessoa e uma profissional que me inspira.

Ao time de Licenças e Qualidade, em especial Leyde Dayane, Eridan Silva e Mirela Paiva pelas conversas, risadas e ensinamentos durante o período de estágio. Os dias foram mais leves com vocês.

Ao meu orientador Patrik Luiz Pastori, por toda dedicação, parceria e por tantos ensinamentos. Agradeço pela confiança depositada em mim e por estar sempre disponível para ajudar. Sua orientação foi fundamental durante esse período e deixo aqui todo carinho e admiração pela pessoa e profissional que você é.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) pela grande oportunidade de chegar até aqui e por proporcionar boas oportunidades durante minha formação acadêmica.

Aos participantes da banca examinadora Camila Teixeira, Marianne Gonçalves, Thais Paz e Prof. Patrik Pastori pelas sugestões e por todo tempo dedicado a leitura do trabalho.

“Enquanto Deus for a tua raiz, não existe
pedra alguma que impeça teu crescimento.
Floresça onde Deus te plantou. ”

Bíblia Sagrada

RESUMO

Plutella xylostella (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) é uma importante praga das brássicas no Brasil e em diversos países. Seu controle tem sido realizado basicamente com uso de inseticidas, os quais podem selecionar populações resistentes. O objetivo foi comparar alguns parâmetros biológicos de populações de *P. xylostella* resistentes a deltametrina, a evolução da resistência e dados da tabela de vida dessas populações sob diferente pressão de seleção. Os dados foram obtidos por Barbosa (2019) estudando populações coletadas na região Nordeste do Brasil e populações provenientes de Sigatoka Lower Valley em Viti Levu nas Ilhas Fiji. Foram avaliadas quatro gerações, sendo: aplicação sucessiva de deltametrina (D-Delta^{BR} e D-Delta^{IF}); aplicação sucessiva de *Bt* (D-*Bt*^{BR} e D-*Bt*^{IF}); alternância de inseticidas [(D-Rotação^{BR}) - G₂= exposição a clorantraniliprole, G₃= exposição a *Bt*, G₄= exposição a metaflumizona e G₅= exposição a clorantraniliprole]; alternância de inseticidas [(D-Rotação^{IF}) - G₂= exposição a abamectina, G₃= exposição a *Bt*, G₄= exposição a indoxacarb e G₅= exposição a abamectina] e mantidas na ausência dos inseticidas (D-Controle^{BR} e D-Controle^{IF}). O ciclo ovo-pupa, o peso das pupas e a longevidade de adultos foram os parâmetros avaliados. A frequência de resistência foi estimada com base na porcentagem de sobrevivência das lagartas em cada geração. Constatou-se que exposições sucessivas à deltametrina e à *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki* em populações do Brasil e das Ilhas Fiji tendem a selecionar e aumentar a frequência de resistência. A aplicação de alta dosagem de deltametrina na população D-Delta^{IF} pode ter influenciado a evolução da resistência dessa população. As aplicações alternadas reduziram a frequência de resistência ao longo das gerações para as populações do Brasil e das Ilhas Fiji. As populações das Ilhas Fiji, sob rotação de inseticidas, apresentaram maiores chances de reestabelecimento da suscetibilidade se comparadas às do Brasil. Ocorreram alterações no peso de pupas e na longevidade de adultos sugerindo existência de custos adaptativos associados à resistência de *P. xylostella* a deltametrina nas populações do Brasil e das Ilhas Fiji.

Palavras-chave: Traça-das-crucíferas; Controle químico; Custo adaptativo; Ciclo biológico.

ABSTRACT

Plutella xylostella (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) is an important pest of brassicas in Brazil and in several countries. Its control has basically been carried out with the use of insecticides, which can select resistant populations. The objective was to compare some biological parameters of populations of *P. xylostella* resistant to deltamethrin, the evolution of resistance and life table data of these populations under different selection pressure. Data were obtained by Barbosa (2019) studying populations collected in the Northeast region of Brazil and populations coming from Sigatoka Lower Valley in Viti Levu in Ilhas Fiji. Four generations were evaluated, as follows: successive application of deltamethrin (D-Delta^{BR} and D-Delta^{IF}); successive application of *Bt* (D-*Bt*^{BR} and D-*Bt*^{IF}); alternation of insecticides [(D-Rotação^{BR}) - G2= exposure to chlorantraniliprole, G3= exposure to *Bt*, G4= exposure to metaflumizone and G5= exposure to chlorantraniliprole]; alternation of insecticides [(D-Rotation^{IF}) - G2=exposure to abamectin, G3=exposure to *Bt*, G4=exposure to indoxacarb and G5=exposure to abamectin] and maintained in the absence of insecticides (D-Controle^{BR} and D-Controle^{IF}). The egg-pupa cycle, pupae weight and adult longevity were the parameters evaluated. Resistance frequency was estimated based on the percentage of caterpillar survival in each generation. It was found that successive exposures to deltamethrin and *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki* in populations from Brazil and Ilhas Fiji tend to select and increase the frequency of resistance. The application of deltamethrin high dosage in the D-Delta^{IF} population may have influenced the evolution of resistance in this population. Alternate applications reduced the frequency of resistance across generations for populations from Brazil and Ilhas Fiji. Populations from the Ilhas Fiji, under insecticide rotation, were more likely to reestablish susceptibility than those from Brazil. There were changes in pupae weight and adult longevity, suggesting the existence of adaptive costs associated with *P. xylostella* resistance to deltamethrin in populations from Brazil and Ilhas Fiji.

Keywords: Diamondback moth; Chemical control; Adaptive costs; Biological cycle.

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabela 1 | Subpopulações de <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) e inseticidas utilizados no experimento..... | 24 |
| Tabela 2 | 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 (G ₂ - G ₅) com inseticidas deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e <i>Bacillus thuringiensis</i> Berliner (<i>Bt</i>) aplicados sucessivamente e/ou em rotação, e amostras de sub-populações de <i>P. xylostella</i> provenientes da população (SLV) (coletada em “Sigatoka Lower Valley, Ilhas Fiji”) por meio de seleção no laboratório (G ₂ - G ₅) com inseticidas deltametrina e <i>Bt</i> aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina | 26 |
| Tabela 3 | Média (\pm erro padrão) de duração (dias) do ciclo total (ovo-pupa), peso de pupas e longevidade de fêmeas e de machos de populações de <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) provenientes da população “UBAJ-2” (coletada em Ubajara, CE) por meio de seleção no laboratório (G ₂ - G ₅) com inseticidas deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e <i>Bacillus thuringiensis</i> (Berliner (<i>Bt</i>) aplicados sucessivamente e/ou em rotação, e amostras de sub-populações de <i>P. xylostella</i> provenientes da população (SLV) (coletada em “Sigatoka Lower Valley -Ilhas Fiji”) por meio de seleção no laboratório (G ₂ - G ₅) com inseticidas deltametrina e <i>Bt</i> aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina | 27 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 16 |
| 2.1 <i>Plutella xylostella</i> (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)..... | 16 |
| 2.2 Resistência de insetos-praga à inseticidas..... | 17 |
| 2.2.1 <i>Resistência de P. xylostella a inseticidas</i> | 20 |
| 2.2.2 <i>Custo adaptativo associado a resistência</i> | 21 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 23 |
| 4 RESULTADOS..... | 24 |
| 5 DISCUSSÃO..... | 28 |
| 6 CONCLUSÕES..... | 30 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 31 |
| REFERÊNCIAS..... | 32 |

1 INTRODUÇÃO

Nas áreas cultivadas, os problemas com insetos-praga são frequentes. Dentre estes, destacam-se espécies da ordem Lepidoptera pela severidade dos danos e perdas que podem causar. A traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), é uma importante praga em plantas da família Brassicaceae no Brasil e em diversos países. O ataque desse lepidóptero-praga limita ou reduz significativamente a produtividade dessas culturas (CARDOSO *et al.*, 2010).

Os danos causados por *P. xylostella* consistem na redução da capacidade fotossintética das plantas devido ao consumo da área foliar pelas lagartas, formando pequenas minas transparentes quando as lagartas estão no primeiro instar. O consumo de praticamente toda a área foliar, quando as lagartas atingem os últimos instares larvais pode inviabilizar a produção com perdas de até 100% (CASTELO BRANCO *et al.*, 1997a).

Mesmo diante de outras possibilidades para manejo e/ou controle, o uso de inseticidas químicos ainda é o mais utilizado (VALICENTE & TUELHER, 2009; TOSCANO *et al.*, 2012; CZEPAK *et al.*, 2013; ÁVILA *et al.*, 2013; IRAC, 2013a). O uso inadequado do controle químico desencadeia alguns problemas, dentre estes, pode-se destacar o aumento da frequência de indivíduos resistentes em populações de *P. xylostella* aos produtos químicos registrados e até mesmo aos produtos biológicos formulados a partir de *Bacillus thuringiensis* Berliner (BARBOSA, 2019). Foram relatados 980 casos de resistência de *P. xylostella* a 101 ingredientes ativos, sendo piretróides, oxadiazina, avermectinas, carbamatos, organofosforados, spinosinas, dentre outros (APRD, 2021).

O desenvolvimento de populações de pragas resistentes à diferentes compostos químicos destaca-se como entrave à produção agrícola, levando, em muitos casos, ao aumento na frequência de aplicação de produtos químicos, com conseqüente aumento nos custos com mão-de-obra e custos gerais da produção. No caso de desenvolvimento da resistência múltipla, a praga pode apresentar resistência a quase todos os inseticidas registrados para o seu controle, tornando o controle químico praticamente inviável do ponto de vista técnico (PROMIP, 2016).

Algumas estratégias como a rotação das moléculas químicas (COYNE, 1951) são recomendadas visando gerenciar a evolução da resistência aos inseticidas (BIELZA *et al.*, 2008; CLOYD, 2010; SUDO *et al.*, 2017). Presume-se que, ao rotacionar inseticidas com modo de ação diferente, a pressão de seleção sobre os indivíduos é reduzida e, quando expostos ao próximo produto utilizado na rotação, resultará na morte dos mesmos (ATTIQUE *et al.*, 2006).

A resistência a inseticidas pode comprometer a reprodução e a sobrevivência dos indivíduos resistentes em ambientes livres de inseticidas, sendo esse fenômeno conhecido como custo adaptativo (COSTAU *et al.*, 2000; GASSMANN *et al.*, 2009). O custo adaptativo associado à resistência pode interferir em processos fisiológicos do inseto de modo que ocorra alocação e utilização dos recursos de uma maneira diferente, influenciando processos metabólicos (DINGHA *et al.*, 2004; GUEDES *et al.*, 2006), ou seja, ambientes com ausência de produtos químicos pode desfavorecer o inseto, afetando seu ciclo.

No caso dos insetos, é comum ocorrer mudanças com relação à distribuição geográfica, o que possibilita a existência de diferenças genéticas entre as populações, interferindo nos genes envolvidos na resistência a inseticidas e no custo adaptativo (MAIS SOJA BR, 2021). O custo adaptativo deve avaliar o efeito pleiotrópico garantindo que apenas o alelo que confere resistência está afetando o *fitness* do inseto e, para isso, é necessário que as populações tenham carga genética o mais semelhante possível (GASSMANN *et al.*, 2009; FFRENCH-CONSTANT & BASS, 2017).

Devido ao caráter cosmopolita e a capacidade migratória, populações de *P. xylostella* podem se isolar geograficamente, originando populações que podem ter características genéticas diferentes ao longo do tempo. A suscetibilidade das diferentes populações à mesma tática de controle poderia então ser variável, o que implicaria na necessidade de elaboração de sistemas de manejo de acordo com a variabilidade populacional (LAURENTIS, 2013). Essa variação pode ocorrer em populações de *P. xylostella* de diferentes países (GONZALES-CABRERA *et al.*, 2001; MONNERAT *et al.*, 2004).

O Manejo de Resistência a Inseticidas (MRI) pode ser dividido em manejo por saturação, manejo por moderação e manejo por ataque múltiplo. Tem como premissas o uso de compostos que confirmam menores níveis de resistência, uso de sinergismo para suprimir os mecanismos de resistência, aplicação menos frequente de inseticidas, propiciar refúgios para o escape dos indivíduos suscetíveis e fazer rotação dos inseticidas de modo que nem todas as gerações sejam expostas ao mesmo produto (IRAC, 2013b). Baseado nessas premissas, o MRI foi proposto nas Ilhas Fiji para o controle de *P. xylostella* resistente a deltametrina em brássicas (ATUMURIRAVA *et al.*, 2016). A resistência dessa praga a deltametrina em diferentes âmbitos visa um plano de manejo a fim de reduzir a evolução da resistência por meio da rotação de inseticidas (BARBOSA, 2019).

Diante disso, objetivou-se comparar alguns parâmetros biológicos de populações de *P. xylostella* resistentes a deltametrina, a evolução da resistência e dados da tabela de vida dessas populações sob diferente pressão de seleção. Os dados foram obtidos por Barbosa

(2019) estudando populações coletadas na região Nordeste do Brasil e populações provenientes de Sigatoka Lower Valley em Viti Levu nas Ilhas Fiji.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae)

As plantas cosmopolitas conhecidas por brássicas constituem uma numerosa família Brassicaceae (Cruciferae) com relevante importância socioeconômica (MELO *et al.*, 2016) como acelga ou couve-chinesa, agrião, brócolis, couve-de-bruxelas, couve-flor, couve-folha, repolho e rúcula (FILGUEIRA, 2008). Além de sua importância como hortaliças, algumas dessas espécies ainda podem ser utilizadas como adubo verde, forrageiras, condimentos e para a produção de óleo a partir das sementes (VILELA, 1983).

A traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) é uma praga migratória mundial e prejudica principalmente as brássicas (FURLONG *et al.*, 2013). Sua presença é fator limitante para esses cultivos em muitas áreas tropicais, devido ao ciclo curto, podendo apresentar até 20 gerações por ano (BARROS & VENDRAMIM, 1999) e alto potencial reprodutivo, o que determina número anual elevado de gerações (ULMER *et al.*, 2002) e esses fatores culminam com capacidade de causar danos que podem rapidamente atingir 100% da produção (REDDY *et al.*, 2004).

Plutella xylostella é considerada inseto holometábolo, ou seja, apresenta desenvolvimento em metamorfose completa. Os adultos de *P. xylostella* não são responsáveis diretos pelos prejuízos uma vez que os danos propriamente ditos são causados pela fase jovem, ou seja, pelas lagartas que possuem coloração verde-clara, cabeça cor parda (CARNEIRO, 1983). As lagartas, ao se alimentarem, raspam o tecido foliar deixando pequenos orifícios e, quando o ataque é intenso, as folhas ficam com aspecto rendilhado (CARDOSO *et al.*, 2010).

A fase larval de *P. xylostella* possui quatro instares e dependendo das condições favoráveis para o seu desenvolvimento, pode variar de 4 a 6 dias e atingir de 7 a 10 mm de comprimento (CARNEIRO, 1983), já as pupas duram de 4 a 15 dias (TALEKAR & SHELTON, 1993). O período entre a oviposição e a emergência dos adultos é de cerca de 22 a 33 dias dependendo da temperatura. Durante o dia, os adultos se abrigam na folhagem das plantas e, a noite voam para acasalar e/ou ovipositar ou em busca de alimento (SILVA JÚNIOR, 1987). As fêmeas ovipositam mais de 200 ovos durante um período de 4 dias, os quais são distribuídos no caule, nas folhas ou nos pecíolos das plantas (TALEKAR & SHELTON, 1993; SILVA & FURLONG, 2012a).

Estudos revelam que as características biológicas de *P. xylostella* variam de acordo com a planta e/ou cultivar e as condições climáticas em que o inseto se desenvolveu (VACARI, 2009). Devido à ampla gama de hospedeiros (FATHI *et al.*, 2010) e a alta capacidade reprodutiva (LI *et al.*, 2016), é considerada uma praga de difícil controle.

Plutella xylostella pode danificar partes folhosas e causar cerca de 50-80% de perdas em couve-flor durante infestação severa (KRISHNAMOORTHY, 2004; AYALEW, 2006; PRASHANT *et al.*, 2007; GRZYWACZ *et al.*, 2010;), depreciando o produto e, interferindo no crescimento das plantas e até mesmo provocar sua morte ou perda total nos campos de produção (CASTELO BRANCO & GATEHOUSE, 1997b; MONNERAT *et al.*, 2004). O custo anual (em 2012 e 2013) considerando perdas e controle de *P. xylostella* em todo o mundo, atingiu US\$ 4-5 bilhões (ZALUCKI *et al.*, 2012; FURLONG *et al.*, 2013).

O controle da traça-das-crucíferas é realizado geralmente com o uso de inseticidas químicos (CASTELO BRANCO *et al.*, 2003; DE BORTOLI *et al.*, 2013). O uso intensivo e sem critérios técnicos desses produtos tende a selecionar populações resistentes aos diferentes princípios ativos comumente utilizados em seu controle (CASTELO BRANCO *et al.*, 1997, 2001), incluindo organofosforados (YU & NGUYEN, 1992), piretroides, reguladores de crescimento (SANTOS *et al.*, 2011), toxinas de *Bacillus thuringiensis* Berliner (TABASHNIK *et al.*, 1990, ZAGO *et al.*, 2014) e, as espinosinas (ZHAO *et al.*, 2002, 2006) e diamidas (WANG & WU, 2012; RIBEIRO *et al.*, 2014).

2.2 Resistência de insetos-praga à inseticidas químicos e biológicos

Os produtos fitossanitários são importantes itens que favorecem a produção de alimentos e tem contribuído para manter a produtividade das culturas, em decorrência da redução das perdas. Entretanto, o seu uso deve ser criterioso e no âmbito do Manejo Integrado de Pragas, onde se considera o histórico de uso visando evitar o crescimento linear dos casos de resistência (MILLER *et al.*, 2010; SPARKS & NAUEN, 2015).

A resistência a um determinado inseticida pode ser definida como a capacidade de certos indivíduos em uma população de insetos sobreviver a uma dose que é letal para a maioria dos indivíduos de uma população suscetível da mesma espécie (ANON, 1957). Um dos casos que demonstram o desenvolvimento de resistência ocorreu com a introdução dos piretróides na década de 1970. Por sua eficiência e baixa toxicidade, as piretrinas foram chamadas, neste período, de “inseticidas máximos”. Entretanto, seu uso excessivo com aplicações múltiplas originou casos de resistência em diversas populações de artrópodes-praga (LEMA, 1995).

Em insetos, a pressão de seleção resulta na evolução da frequência de resistência. Essa pressão é resultado do contínuo uso de elevadas doses de inseticidas ou bioinseticidas que compartilham do mesmo modo de ação, o que favorece a sobrevivência de indivíduos portadores de genótipos resistentes. Com o passar das gerações dos insetos-praga, devido à resistência ser uma característica hereditária, os indivíduos resistentes tendem a aumentar seu número dentro da população e assim elevar a frequência de resistência e, conseqüentemente, reduzir a eficiência do controle de inseticidas (BERNARDI, 2016).

A evolução da resistência dos insetos-praga a inseticidas, no campo, é afetada por vários fatores, dentre fatores genéticos e bioecológicos ligados a praga-alvo e por fatores relacionados ao produto químico em si e a sua utilização (ROUSH & McKENZIE, 1987; LATIN AMERICAN CROP PROTECTION ASSOCIATION, 2002).

Os fatores genéticos estão relacionados às características inerentes ao número de cromossomos no genoma da praga-alvo envolvidos na resistência, o padrão de herança ou dominância dos alelos resistentes e o custo adaptativo entre os indivíduos suscetíveis e os resistentes (ROUSH & McKENZIE, 1987). O hábito alimentar dos insetos, a capacidade de dispersão dos adultos, a presença de refúgios para os indivíduos suscetíveis e o número de gerações por ano caracterizam alguns dos aspectos bioecológicos envolvidos na evolução da resistência (GEORGHIOU & TAYLOR, 1997a), aspectos estes, relevantes para adoção das estratégias de manejo da resistência (MARTINELLI & OMOTO, 2006). Os fatores operacionais estão relacionados às características do inseticida (dose, persistência, formulação, seletividade a inimigos naturais e grupo químico) e os referentes às características de aplicação (nível de ação adotado no controle da praga, estágio de desenvolvimento da praga, modo de aplicação e estratégias de uso dos produtos) (GEORGHIOU & TAYLOR, 1997b).

Os mecanismos envolvidos na alteração da sensibilidade dos insetos-praga aos inseticidas estão relacionados com a resposta ao estresse térmico (PATIL *et al.*, 1996), a penetração reduzida, o aumento nas taxas de excreção, as trocas comportamentais (BROGDON & McALLISTER, 1998) e as modificações no sítio químico de ação (HEMINGWAY *et al.*, 2000a). A resistência no sítio-alvo ocorre quando o inseticida não se junta ao sítio onde deve agir. Isto acontece porque há diminuição na sensibilidade do sítio ou modificação no mesmo (HEMINGWAY & RANSON, 2000b). A causa mais comum é a presença de mutações pontuais em genes estruturais. Para que estas sejam selecionadas favoravelmente, a mudança no aminoácido deve diminuir a união ao inseticida sem causar perda da função primária do sítio-alvo. Portanto, o número possível de substituições de

aminoácidos é limitado e, geralmente encontram-se mutações idênticas associadas à resistência por meio de taxas altamente divergentes. O grau de diminuição da função causada pela mutação confere resistência, que se reflete na vantagem biológica dos indivíduos resistentes na seleção pelo inseticida. Este custo na eficácia biológica tem importantes implicações para a persistência da resistência e/ou a reversão na suscetibilidade em populações de campo (BERTICAT *et al.*, 2002, MONTELLA *et al.*, 2007).

Mais de 500 espécies de insetos e ácaros resistentes a pelo menos uma classe de composto químico foram documentadas até o início da década de 1990 (GEORGHIOU & LAGUNES-TEJEDA, 1991). No mundo já foram documentados vários casos de resistência de *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) a acefato, cipermetrina, deltametrina, permetrina, teflutrim, fenvalerato, metomil, paratiom metílico, tiodicarbe e flubendiamida (OWEN *et al.*, 2013; WILLE, 2016; APRD, 2018). Casos de resistência de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) a novas moléculas inseticidas, como fipronil, indoxacarb e flubendiamide já foram documentados e isso dificulta ainda mais a realização do controle químico da forma adequada, por meio da rotação de produtos com modo de ação diferente (AHMAD *et al.*, 2003; WU & GUO, 2005; ABBADE NETO *et al.*, 2018). O ácaro-rajado, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), se destaca como o artrópode resistente ao maior número de ingredientes ativos no mundo, sendo registrados 551 casos de resistência a 96 ingredientes ativos (APRD, 2021).

Assim como ocorre com produtos químicos, as pragas podem desenvolver resistência aos bioinseticidas (VILLAS BOAS, 2001; SARFRAZ & KEDDIE, 2005). Populações brasileiras de *P. xylostella* responderam diferentemente em sua suscetibilidade quando tratadas com Dipel® e Xentari®, sendo verificados maiores níveis de resistência ao Xentari®. A hipótese de que esta variação na suscetibilidade tenha ocorrido devido a maior frequência de uso de Xentari® associado ao seu modo de ação mais uniforme nos sítios de ligações no intestino médio das larvas, além do que Xentari® apresenta apenas um tipo de proteína Cry quando comparado com o Dipel® (ZAGO *et al.*, 2014).

Afim de evitar ou postergar o desenvolvimento de indivíduos resistentes ao controle químico e aos produtos biológicos, existem táticas recomendadas como, adoção do manejo integrado de pragas integrando as ferramentas de controle e o conhecimento da biologia da praga, proteção dos organismos benéficos por meio da utilização de produtos seletivos ou utilizando outros métodos de controle não-químicos, incluindo áreas de refúgio, utilização das doses recomendadas pelo fabricante, alternância de produtos registrados e quando houver falhas no controle, não reaplicar o mesmo inseticida com o mesmo modo de

ação, devendo-se utilizar outro inseticida de modo a não favorecer a resistência (IRAC, 2020). Assim, torna-se necessário desenvolver pesquisas que forneçam subsídios para contribuir e facilitar o desenvolvimento de programas ativos de Manejo de Resistência de Insetos (MRI) baseadas nas premissas de rotação de inseticidas, aplicação de modos de ação diferente com objetivo de reduzir a evolução do problema no campo, diminuindo as chances de realizar aplicações desnecessárias e manejo malsucedido, garantindo a preservação da vida útil das moléculas (BARBOSA, 2019).

2.2.1 Resistência de *P. xylostella* a inseticidas químicos e biológicos

Em todo o mundo já foram registrados 980 casos de resistência de *P. xylostella* a diversos ingredientes ativos (APRD, 2021). A capacidade exponencial de sobrepor gerações dentro de um mesmo ano associado ao elevado potencial migratório tem contribuído para a seleção mais rápida de populações resistentes aos grupos inseticidas (SAYYED *et al.*, 2004, 2005; SAYYED & WRIGHT, 2006;).

Plutella xylostella foi o primeiro inseto-praga a desenvolver resistência ao DDT (JOHNSON, 1953; ANKERSMIT, 1953) e a *Bacillus thuringiensis* no campo (KIRSCH & SCHMUTTERER, 1988; HAMA *et al.*, 1992; SHELTON & WYMAN, 1992). No Brasil, a resistência de *P. xylostella* a inseticidas foi relatada por Castelo Branco & Gatehouse (1997), em relação aos diferentes princípios ativos comumente utilizados em seu controle. Foi observada resistência de *P. xylostella* a piretróides (cipermetrina, β -cipermetrina e fenvalerato) no Paquistão, Índia, China e Coreia, inclusive no Brasil, como a deltametrina (KWON *et al.*, 2004; KHALIQ *et al.*, 2007; BALASUBRAMANI *et al.*, 2008; ZHOU *et al.*, 2010; BARBOSA, 2019), além das oxadiazinas e benzoilureias (OLIVEIRA *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2012b). A resistência apresentada por populações de traça-das-crucíferas a abamectina foi estudada, com base nos trabalhos de Zhang *et al.* (2001) e Iqbal *et al.* (1996), que haviam observado resistência dessa praga àquele inseticida, na China e Malásia, respectivamente (CASTELO BRANCO & MELO, 2002).

A evolução da resistência de *P. xylostella* a espinosade no Agreste pernambucano foi verificada juntamente com deltametrina e abamectina (OLIVEIRA *et al.*, 2011). Esta praga apresenta resistência a quase todos os grupos inseticidas utilizados, incluindo as diamidas antranílicas (WANG & WU, 2012). As diamidas foram lançadas no mercado em 2009 para o controle de muitas espécies de lepidópteros (JEANGUENAT, 2013; LAHM *et al.*, 2007), no entanto, existem casos de resistência reportados, dentre estes, o de *P. xylostella* a

chlorantraniliprole e flubendiamide nas Filipinas, Tailândia (TROCZKA *et al.*, 2012) e no Brasil (RIBEIRO *et al.*, 2014).

Não diferente dos inseticidas convencionais, os inseticidas biológicos tiveram sua eficiência acometida pelo aparecimento de indivíduos resistentes. Esse registro foi observado em traça-das-crucíferas em condição de laboratório e, desde então, diversos casos de resistência vêm sendo relatados (TABASHNIK *et al.*, 1990; HERNÁNDEZ-RODRIGUES *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2014). Populações de *P. xylostella* provenientes das províncias de Yuenyang, Louyang, Yichang e Wuxu na China apresentaram variação nos níveis de resistência para os inseticidas *Bt*, sendo estes associados às variações genéticas das populações, assim como as variações geográficas de cada província (ZHANG *et al.*, 2016). Verificou-se diferenças na suscetibilidade de populações indianas de traça-das-crucíferas ao inseticida *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki* sugerindo que estas variações na suscetibilidade das populações da praga tanto estavam associadas às diferenças geográficas como também a sua constituição genética (MOHAN & GUJAR, 2002).

A resistência adquirida por *P. xylostella* às diferentes classes inseticidas podem ser consequência dos mecanismos como enzimas de destoxificação do inseto que aumentam a capacidade de metabolização do inseticida, devido à diminuição da sensibilidade do sítio alvo ou por reduzir a penetração cuticular/aumento da excreção (IRAC-BR, 2016). Por outro lado, boa parte dos mecanismos de resistência aos inseticidas, estão associados à custos de aptidão, uma vez que as mudanças adaptativas em alguns casos apresentam efeitos mensuráveis sobre habilidades gerais de um inseto resistente em comparação com um inseto suscetível (IRAC-BR, 2016; NANSEN *et al.*, 2016).

2.2.2 Custo adaptativo associado a resistência

O custo de *fitness*, traduzido como custo de aptidão, é uma consequência à resistência. Mecanismos que conferem resistência demandam energia devido à produção de elementos metabólicos indispensáveis à sobrevivência e, este gasto energético precisa ser poupado em outro processo do ciclo de vida (RIVERO *et al.*, 2011). Estudos sobre evolução da resistência a inseticidas geralmente associam o fenômeno a um custo adaptativo ao indivíduo (ROUSH & MCKENZIE, 1987; MCKENZIE & BATTERHAM, 1994; HAUBRUGE & ARNAUD, 2001). O custo adaptativo limita o desenvolvimento dos organismos resistentes na ausência de pressão de seleção, interferindo no metabolismo e, consequentemente deixando os indivíduos resistentes menos competitivos que os organismos suscetíveis em ambientes naturais (GOULD, 1998).

Para desenvolver resistência à determinado componente (especialmente químico), o indivíduo pode sofrer alterações metabólicas capazes de conferir sua estabilidade frente ao químico. Essa mudança pode estar associada à um custo adaptativo trazendo desvantagens ao indivíduo quando este se encontra em locais na ausência dos componentes (GOULD, 1998; COUSTAU *et al.*, 2000; GUEDES *et al.*, 2006).

O custo adaptativo é expresso sob a forma de modificações no funcionamento e estrutura do organismo, como realocação de recursos, mudanças metabólicas e no processo de desenvolvimento do organismo (BERTICAT *et al.*, 2002). Estes custos podem afetar a bioecologia dos insetos, reduzindo as taxas de sobrevivência e de fertilidade como foi observado em populações de *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do algodão distribuídas em três regiões distintas dos Estados Unidos (GUSTAFSON *et al.*, 2006; SAYYED, *et al.*, 2008; GASSMANN *et al.*, 2009), e em *P. xylostella* resistente à metaflumizona e à clorantraniliplore (RIBEIRO *et al.*, 2014; SHEN *et al.*, 2017; STEINBACH *et al.*, 2017).

Já no caso de uma população de *P. xylostella* resistente a tebufenozide, em condições de laboratório, os insetos resistentes e suscetíveis tiveram taxas de desenvolvimento semelhantes, porém, foram observadas desvantagens reprodutivas nos testes de tabela de vida dos insetos resistentes, demonstrando menor taxa de emergência de adultos, indicando baixa probabilidade para o desenvolvimento de resistência sob adequado regime de controle de pragas (GUANGCHUN & ZHAOJUN, 2006), menor sobrevivência de adultos e fecundidade (GROETERS *et al.*, 1993). Custo adaptativo esse que também foi observado em *P. xylostella* resistente a avermectina (LI *et al.*, 2000), fenvalerate (CHEN & NAKASUJI, 2004), espinosade (LI *et al.*, 2007a), clorpyrifos (ZHANG *et al.*, 2015), metaflumizona (SHEN *et al.*, 2017), abamectina (WANG & WU, 2014) e ciantraniliprole (LIU *et al.*, 2015) incluindo menor sobrevivência larval, menor fecundidade e maior tempo para o desenvolvimento.

Considerando o conhecimento sobre custo adaptativo é possível explorá-lo no Manejo de Resistência a Inseticidas (MRI) e assim garantir o sucesso quando a rotação de moléculas químicas for adotada uma vez que os genes de resistência expressos na ausência de inseticidas (pressão de seleção) pode afetar negativamente a evolução da resistência (LI *et al.*, 2007b), impedindo a multiplicação e o 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.*, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de comparações de tabela de vida entre as populações de *P. xylostella* do Brasil D-Delta^{BR} e das Ilhas Fiji D-Delta^{IF} foram extraídos/obtidos de Barbosa (2019). Os dados originais foram obtidos por meio de ensaios realizados na “School of Biological Sciences” da Universidade de Queensland (UQ), Brisbane, Austrália, em 2017 e 2018, e no Laboratório de Entomologia Aplicada (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil em 2018.

A população D-Controle^{IF} foi mantida em laboratório por mais de 200 gerações sem exposição a inseticidas. A população resistente a deltametrina (D) foi coletada em 2008 na região de “Sigatoka Lower Valley” em Viti Levu - Ilhas Fiji. No Brasil, a população resistente foi coletada em áreas comerciais de repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) e couve-manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala*) localizadas na Serra da Ibiapaba, Estado do Ceará. A população padrão de suscetibilidade no Brasil D-Controle^{BR} foi mantida em laboratório por mais de 60 gerações sem exposição a inseticidas. Ambas as populações resistentes, Brasil e Ilhas Fiji, foram analisadas quanto à frequência de resistência, sendo mantidas sobre pressão de seleção em ensaios posteriores.

A proposta de rotação (D-Rotação^{BR} e D-Rotação^{IF}) foi diferente entre as duas subpopulações, devido a disponibilidade e o devido registro de produtos em ambas as regiões onde foram realizados os experimentos, porém, a hipótese testada foi a observação dos custos relacionados à resistência, assim, esse fato não tem papel fundamental na interpretação dos resultados obtidos.

Os testes de seleção foram iniciados a partir da G₂, uma vez que na G₁ foram realizadas aplicações na população inicial resistente a deltametrina (D) para calcular a CL₅₀. A partir do estabelecimento das CL's₅₀, a população inicial resistente a deltametrina foi dividida em quatro subpopulações que constituíram os tratamentos (Tabela 1). Os dados do ciclo biológico das populações foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste F ($p \leq 0,05$).

Tabela 1 - Subpopulações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) e inseticidas utilizados no experimento

| Subpopulações | Geração | Inseticidas |
|--|---------|-------------------------------|
| ¹ D-Delta ^{BR} ¹ D-Delta ^{IF} | G2 | Deltametrina |
| | G3 | |
| | G4 | |
| | G5 | |
| ² D-Bt ^{BR} ² D-Bt ^{IF} | G2 | <i>Bacillus thuringiensis</i> |
| | G3 | |
| | G4 | |
| | G5 | |
| ³ D-Rotação ^{BR} | G2 | Clorantraniliprole |
| | G3 | <i>Bt</i> |
| | G4 | Metaflumizona |
| | G5 | Clorantraniliprole |
| ⁴ D-Rotação ^{IF} | G2 | Abamectina |
| | G3 | <i>Bt</i> |
| | G4 | Indoxacarb |
| | G5 | Abamectina |

Fonte: (Barbosa, 2019). ¹D-Delta^{BR} e ¹D-Delta^{IF}= subpopulações do Brasil e das Ilhas Fiji com aplicações sucessivas de Deltametrina; ²D-Bt^{BR} e ²D-Bt^{IF}= subpopulações do Brasil e das Ilhas Fiji com aplicações sucessivas de *Bt*; ³D-Rotação^{BR}= subpopulação do Brasil exposta aos inseticidas em sistema rotacionado; ⁴D-Rotação^{IF}= subpopulação das Ilhas Fiji exposta aos inseticidas em sistema rotacionado.

4 RESULTADOS

Verificou-se possível reversão da resistência e chances de reestabelecimento da suscetibilidade nas populações D-Controle^{BR} e D-Controle^{IF}, cuja população inicial de ambas era resistente à deltametrina (Tabela 2).

As populações D-Delta^{BR} e D-Delta^{IF} quando expostas à deltametrina, aumentaram a frequência de resistência. A exposição sucessiva da população D-Delta^{BR} à deltametrina, ao longo de quatro gerações sucessivas, proporcionou aumento na sobrevivência larval de 36,0% (Tabela 2). Já na população D-Delta^{IF}, quando exposta a sucessivas aplicações de deltametrina, observou-se 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).

Ao longo das quatro gerações, as populações D-Bt^{BR} e D-Bt^{IF}, em exposição contínua ao *Bt*, aumentaram a sobrevivência larval de 41,0% e 27,6%, respectivamente (Tabela 2).

Verificou-se que ambas as populações, D-Rotação^{BR} e D-Rotação^{IF}, provenientes da exposição em rotação, reduziram a frequência de resistência (Tabela 2). Ao rotacionar a

população D-Rotação^{BR} em alternância de três inseticidas (Clorantraniliprole, *Bt* e Metaflumizona) verificou-se redução de 36,0% na sobrevivência larval em quatro gerações (Tabela 2). Quanto a rotação para a população proveniente das Ilhas Fiji D-Rotação^{IF}, em alternância dos princípios ativos abamectina, *Bt*, indoxacarbe e abamectina verificou-se redução de 48,0% na sobrevivência larval após quatro gerações (Tabela 2).

A população D-Controle^{BR} não apresentou diferença significativa quando avaliados os parâmetros: Ciclo biológico, o peso das pupas e a longevidade de machos e de fêmeas, mas sim na duração do período de incubação dos ovos e no desenvolvimento das pupas, comparado com a população D-Controle^{IF}, que apresentou diferença significativa em todos os parâmetros avaliados (Tabela 3).

Todo o ciclo biológico e a longevidade de machos e de fêmeas da população D-Delta^{IF} apresentaram diferença significativa quando comparado a população D-Delta^{BR}, enquanto apenas nas fêmeas da população D-Delta^{BR} não foi observada diferença significativa (Tabela 3). A longevidade de fêmeas entre as populações D-*Bt*^{BR} e D-*Bt*^{IF} apresentou a maior redução, sendo de 3,1 dias quando comparadas as demais populações (Tabela 3).

Todo o ciclo biológico e longevidade de fêmeas e de machos da população D-Rotação^{IF} apresentou diferença significativa (Tabela 3). Na população D-Rotação^{BR}, não foi observada diferença significativa para os parâmetros: Desenvolvimento de lagartas, peso de pupas e longevidade de machos (Tabela 3).

Tabela 2 - Mortalidade induzida em amostras de subpopulações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) provenientes da população “UBAJ-2” (coletada em Ubajara, CE) por meio de seleção no laboratório (G₂- G₅) com inseticidas deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e *Bacillus thuringiensis* Berliner (*Bt*) aplicados sucessivamente e/ou em rotação, e amostras de sub-populações de *P. xylostella* provenientes da população (SLV) (coletada em “Sigatoka Lower Valley, Ilhas Fiji”) por meio de seleção no laboratório (G₂- G₅) com inseticidas deltametrina e *Bt* aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina

| População | Geração | n _a | % sobrevivência | % de alteração na sobrevivência ao longo de três gerações |
|--------------------------------|---|----------------|-----------------|---|
| D-Controle^{BR} | G ₂ | 50 | 95,0 | - |
| | G ₃ | 50 | 97,0 | - |
| | G ₄ | 50 | 98,0 | - |
| | G ₅ | 50 | 94,0 | - |
| D-Controle^{IF} | G ₂ | 40 | 98,0 | - |
| | G ₃ | 50 | 96,0 | - |
| | G ₄ | 50 | 96,0 | - |
| | G ₅ | 50 | 90,0 | - |
| D-Delta^{BR} | G ₂ (Deltametrina) - 174 ppm | 50 | 36,0 | - |
| | G ₃ (Deltametrina) - 174 ppm | 50 | 44 | - |
| | G ₄ (Deltametrina) - 174 ppm | 50 | 58 | - |
| | G ₅ (Deltametrina) - 174 ppm | 50 | 72 | 36,0 |
| D-Delta^{IF} | G ₂ (Deltametrina) -123 ppm | 50 | 47,0 | - |
| | G ₃ (Deltametrina) -123 ppm | 50 | 52,0 | - |
| | G ₄ (Deltametrina) -123 ppm | 50 | 68,0 | 44,6 |
| | G ₄ (Deltametrina) - 250 ppm | 50 | 22,0 | - |
| | G ₅ (Deltametrina) - 250 ppm | 50 | 26,0 | 18,0 |
| D-Bt^{BR} | G ₂ (<i>Bt</i>) - 0,07 ppm | 50 | 37 | - |
| | G ₃ (<i>Bt</i>) - 0,07 ppm | 50 | 56 | - |
| | G ₄ (<i>Bt</i>) - 0,07 ppm | 50 | 61 | - |
| | G ₅ (<i>Bt</i>) - 0,07 ppm | 50 | 78 | 41,0 |
| D-Bt^{IF} | G ₂ - 0,003 g/L | 50 | 58,0 | - |
| | G ₃ - 0,003 g/L | 50 | 66,0 | - |
| | G ₄ - 0,003 g/L | 50 | 72,0 | - |
| | G ₅ - 0,003 g/L | 50 | 74,0 | 27,6 |
| D-Rotação^{BR} | G ₂ (Clorantraniliprole) - 0,7 ppm | 50 | 41 | - |
| | G ₃ (<i>Bt</i>) - 0,07 ppm | 50 | 39 | - |
| | G ₄ (Metaflumizona.) - 200 ppm | 50 | 35 | - |
| | G ₅ (Clorantraniliprole) - 0,7 ppm | 50 | 26 | -36,0 |
| D-Rotação^{IF} | G ₂ (Abamectina) - 0,03 ppm | 50 | 54,0 | - |
| | G ₃ (<i>Bt</i>) - 0,003 g/L | 50 | 50,0 | - |
| | G ₄ (Indoxacarbe.) - 0,12 ppm | 50 | 44,0 | - |
| | G ₅ (Abamectina) - 0,03 ppm | 50 | 28,0 | -48,0 |

Fonte: (Barbosa, 2019). ^anúmero de indivíduos amostrados na avaliação. Concentrações letais (CL50) obtidas na G1 e utilizadas ao longo das gerações em todos os tratamentos.

Tabela 3 - Média (\pm erro padrão) de duração (dias) do ciclo total (ovo-pupa), peso de pupas e longevidade de fêmeas e de machos de populações de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) provenientes da população “UBAJ-2” (coletada em Ubajara, CE) por meio de seleção no laboratório (G₂- G₅) com inseticidas deltametrina, clorantraniliprole, metaflumizona e *Bacillus thuringiensis* (Berliner (*Bt*) aplicados sucessivamente e/ou em rotação, e amostras de sub-populações de *P. xylostella* provenientes da população (SLV) (coletada em “Sigatoka Lower Valley -Ilhas Fiji”) por meio de seleção no laboratório (G₂- G₅) com inseticidas deltametrina e *Bt* aplicados sucessivamente, e em rotação com indoxacarbe e abamectina

| Populações | Ovo | Larva | Pupa | Total | Peso pupa | Longevidade | |
|--------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | | | Fêmeas | Machos |
| D-Controle^{BR} | 3,2 \pm 0,05 | 8,2 \pm 0,12 ^{ns} | 4,1 \pm 0,06 | 15,5 \pm 0,16 ^{ns} | 5,0 \pm 0,01 ^{ns} | 12,5 \pm 0,56 ^{ns} | 15,9 \pm 0,35 ^{ns} |
| D-Controle^{IF} | 3,5 \pm 0,08 | 7,8 \pm 0,11 | 4,6 \pm 0,10 | 15,7 \pm 0,22 | 5,1 \pm 0,01 | 12,0 \pm 0,29 | 16,7 \pm 0,55 |
| D-Delta^{BR} | 3,0 \pm 0,00 | 8,2 \pm 0,09 | 5,0 \pm 0,05 | 16,2 \pm 0,09 | 3,3 \pm 0,01 | 12,3 \pm 0,42 ^{ns} | 12,2 \pm 0,29 |
| D-Delta^{IF} | 3,3 \pm 0,07 | 7,3 \pm 0,13 | 4,5 \pm 0,11 | 14,9 \pm 0,18 | 4,6 \pm 0,01 | 10,3 \pm 0,67 | 14,8 \pm 0,40 |
| D-Bt^{BR} | 3,1 \pm 0,03 | 9,2 \pm 0,08 | 5,2 \pm 0,06 | 17,4 \pm 0,11 | 4,8 \pm 0,01 ^{ns} | 12,9 \pm 0,28 | 15,1 \pm 0,31 ^{ns} |
| D-Bt^{IF} | 3,7 \pm 0,05 | 7,8 \pm 0,12 | 4,3 \pm 0,10 | 15,6 \pm 0,21 | 4,9 \pm 0,02 | 9,8 \pm 0,65 | 14,1 \pm 0,41 |
| D-Rotação^{BR} | 3,0 \pm 0,00 | 8,0 \pm 0,08 ^{ns} | 5,0 \pm 0,07 | 16,0 \pm 0,10 | 5,1 \pm 0,02 ^{ns} | 13,0 \pm 0,30 | 15,3 \pm 0,37 ^{ns} |
| D-Rotação^{IF} | 3,3 \pm 0,09 | 7,8 \pm 0,11 | 4,3 \pm 0,08 | 15,3 \pm 0,25 | 4,8 \pm 0,01 | 11,0 \pm 0,50 | 14,3 \pm 0,39 |

Fonte: (Barbosa, 2019). ^{ns}Médias não diferem entre si, pelo teste F ($p > 0,05$).

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a aplicação sucessiva de deltametrina e *Bt* nas populações do Brasil quanto das Ilhas Fiji resultaram na manutenção e/ou no aumento da frequência de resistência. O desenvolvimento da frequência de resistência pode acontecer devido a mudanças nos sítios de ação dos inseticidas, os quais atuam no inseto normalmente no sistema nervoso, intestino, ou por meio de mudanças nas enzimas metabólicas que degradam os inseticidas (FFRENCH-CONSTANT, 2000). A pressão de seleção promove a variação genotípica na população inicial e aumento da sobrevivência dos indivíduos resistentes (GEORGHIU, 1972; ROUSH & MCKENZIE, 1987).

A capacidade de *P. xylostella* em desenvolver resistência a inseticidas é decorrente principalmente de mecanismos metabólicos, insensibilidade do sítio de ação e redução na penetração do inseticida (LIU *et al.*, 1982, 1984; SUN, 1992). Além disso, essa espécie possui alto potencial reprodutivo e ciclo de vida extremamente curto (TALEKAR & SHELTON, 1993), fatores que somados à alta pressão de seleção contribuem para o rápido desenvolvimento de resistência (DOWD *et al.*, 1984).

O manejo da resistência pode ser dividido em manejo por moderação, manejo por saturação e manejo por ataque múltiplo. Dentre eles, o objetivo do manejo por saturação é promover a redução do valor adaptativo dos indivíduos resistentes através do uso de sinergistas ou de altas dosagens do produto (GEORGHIU & SAITO, 1983). Isso sugere que a alta dosagem pode ter reduzido a evolução da resistência na população D-Delta^{IF} quando exposta à concentração de 250 ppm.

A traça-das-crucíferas foi um dos primeiros insetos a desenvolverem resistência ao DDT em condições campo e, também tem desenvolvido resistência aos tratamentos comerciais com *B. thuringiensis*, principalmente aos produtos comerciais: Dipel[®] e Xentari[®] (TABASHNIK *et al.*, 1997; TANG, 1996; HERRERO *et al.*, 2001, 2002; VAN RIE & FERRÈ, 2000). Estudos sugerem que a resistência a *B. thuringiensis* pode estar relacionada a vários fatores e ao modo de ação das toxinas, permitindo algumas hipóteses, como a mudança na conformação dos receptores, pH intestinal menos alcalino impedindo a solubilização do cristal, proteases intestinais incapazes de digerir ou ativar as delta-endotoxinas, proteases intestinais muito eficazes que poderiam digerir totalmente a protoxina e hipersensibilidade dos indivíduos-alvo (MONNERAT & BRAVO, 2000). Isso possivelmente explica as diferenças encontradas nos resultados das populações D-*Bt*^{BR} e D-*Bt*^{IF}, em que foi verificado que a população das Ilhas Fiji menor aumento na frequência de resistência se comparado a

população do Brasil, apesar de ambas apresentarem o mesmo comportamento de aumento na frequência de resistência.

A evolução da resistência tende a ser retardada quando a herança é recessiva (ROUSH; McKENZIE, 1987). Uma vez que a resistência atinge alta frequência, 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, pois os indivíduos resistentes que sobreviverem à aplicação de um inseticida seriam todos homozigotos (BARBOSA, 2019). Esse resultado corrobora com o fato da redução da frequência de resistência da população D-Rotação^{BR} ter sido menor que a D-Rotação^{IF} após quatro gerações. Além disso, sugere-se que existem diferenças técnicas no desenvolvimento da agricultura nos dois locais. Nas Ilhas Fiji existem iniciativas de inovações tecnológicas agrícolas, cujas inovações trazem implicações ao manejo, às culturas e ao ambiente em que os artrópodes-praga estão submetidos (ABAPA, 2013).

As populações D-Delta^{BR}, D-Delta^{IF}, D-Bt^{BR}, D-Bt^{IF} demoraram mais para se desenvolver em comparação às populações expostas a rotação. Essa alteração no ciclo biológico sugere a existência de um custo adaptativo associado à resistência. Esses resultados são importantes para garantir o sucesso da alternância de inseticidas, visto que na ausência de pressão de seleção deve existir um custo adaptativo dos indivíduos (GEORGHIOU, 1983; TABASHNIK, 1989). Outra possibilidade para justificar o custo adaptativo observado nas populações resistentes é o aumento do gasto energético para reposição de células danificadas em insetos resistentes (CASTAGNOLA & JURAT-FUENTES, 2016).

A existência de custos adaptativos é normalmente avaliada pela comparação entre características de desenvolvimento, como sobrevivência, duração de estágios larvais ou adulto, peso de larvas e parâmetros de fertilidade entre as populações resistentes e suscetíveis. Além dos parâmetros biológicos, o custo pode também ser avaliado pelo monitoramento da estabilidade da resistência na ausência de pressão de seleção (JAKKA *et al.*, 2014).

Estudos com *P. xylostella* mostram que existem custos como aumento no tempo de desenvolvimento, diminuição do peso em diferentes instares, diminuição no período de oviposição, fecundidade e fertilidade, os quais são consequências diretas da resistência a inseticidas, que posteriormente resulta em *fitness* reduzido (RIBEIRO *et al.*, 2014; SHEN *et al.*, 2017; STEINBACH *et al.*, 2017). Redução no peso de pupas e na longevidade de machos foi verificado na população D-Delta^{BR} se comparada a mesma população das Ilhas Fiji. O peso das pupas é um bom indicador de fecundidade de insetos quando criados nas mesmas condições (LEATHER, 1988) e pupas menores e leves são menos fecundas, representando

custo de aptidão (ATUMURIRAVA, 2015). A redução na longevidade de adultos reduz o número de gerações que se sobrepõem, sendo, portanto, uma vantagem no MRI, podendo reduzir as chances de acasalamento dos insetos resistentes e retardar a evolução da resistência (PECK *et al.*, 1999) da população D-Delta^{BR}.

Na elaboração de técnicas para o MRI é necessário conhecimento dos padrões da diversidade genética do inseto, uma vez que a habilidade de adaptação de um organismo depende da sua variabilidade genética (Yan *et al.* 1998; HIRAGI *et al.*, 2009). Cada população deve ser avaliada e identificados os fatores responsáveis pela resistência e adaptação, afim de compreender a evolução histórica das populações. Para medir essa variação, são feitos testes moleculares, mas neste estudo não foi possível realizar a análise molecular, porém, outros autores sugerem a existência da diversidade genética quanto a origem, adaptação em locais diferentes devido a ecologia, mutações ou seleção natural (YAN *et al.*, 1998).

As populações de *P. xylostella* das Ilhas Fiji e do Brasil poderão retornar à suscetibilidade em conjunto com os resultados obtidos nos parâmetros biológicos, sendo necessário a existência de custo adaptativo na ausência de pressão de seleção garantindo a eficácia da alternância de inseticidas.

6 CONCLUSÕES

Exposições sucessivas a deltametrina e *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki* em populações de *P. xylostella* do Brasil e das Ilhas Fiji tendem a selecionar e aumentar a frequência de resistência.

A alta dosagem da CL₅₀ aplicada na população D-Delta^{IF} influenciou a evolução da resistência dessa população.

Populações de *P. xylostella* do Brasil podem ter a resistência à deltametrina reduzida por meio da alternância de aplicações de clorantraniliprole, metaflumizona e *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki*.

Populações de *P. xylostella* das Ilhas Fiji podem ter a resistência à deltametrina reduzida por meio da alternância de aplicações de abamectina, *B. thurigiensis* subsp. *kurstaki* e indoxacarb.

Ocorrem alterações no peso de pupas e na longevidade de adultos associadas ao custo adaptativo e à resistência de *P. xylostella* a deltametrina nas populações do Brasil e das Ilhas Fiji.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao Manejo de Resistência a Inseticidas (MRI) tem ganhado espaço, visto que o controle químico e o uso de produtos biológicos são importantes ferramentas, sendo necessário traçar estratégias para que a sua eficiência não seja perdida. Aplicações sucessivas de inseticidas com modo de ação diferente implicam na redução dos níveis de resistência, demonstrando que as populações podem retornar à suscetibilidade. Os resultados obtidos nesta pesquisa trazem informações sobre populações de *P. xylostella* estudadas e adaptadas à duas regiões do mundo, demonstrando a importância de se considerar também a variabilidade genética do inseto na elaboração de estratégias no MRI.

Os resultados obtidos desse trabalho são importantes para orientar o produtor a utilizar corretamente os controles e adotar o manejo integrado, onde os produtos fitossanitários, químicos ou biológicos, devem ser empregados apenas quando necessários. Os resultados ainda sugerem que a aplicação sucessiva diminui a vida útil dos inseticidas sendo, portanto, recomendada a rotação dos princípios. Mesmo que as subpopulações foram coletadas em locais geograficamente distantes, os resultados se comportaram de maneira semelhante, demonstrando que o manejo correto aumenta as chances de reestabelecimento da resistência.

REFERÊNCIAS

- ABAPA. **Pesquisadores do IMAm elogiam modelo australiano de produção de algodão.** 2021. Disponível em: <https://abapa.com.br/sem-categoria/pesquisadores-do-imamt-elogiam-modelo-australiano-de-producao-de-algodao/>. Acesso em 02 de fev. 2022.
- ABBADÉ NETO, D. O.; PEREIRA, R. M.; PEREIRA, I. M.; AMADO, D.; SPINELLI SILVA, S.; DURIGAN, M. R.; OMOTO, C. Genetic basis of flubendiamide resistance in *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Annals of the 2018 ESA, ESC, and ESBC Joint Annual Meeting**, 2018.
- AHMAD, M.; ARIF, M. I.; AHMAD, Z. Susceptibility of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to new chemistries in Pakistan. **Crop Protection**, v. 22, p. 539-544, 2003.
- ANKERSMIT, G. W. DDT resistance in *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera) in Java. **Bulletin of Entomological**, v. 44, p. 421-25, 1953.
- ANON. World health expert committee on insecticides. The 17th Report. **Who Technical Report Series**, v. 125, 1957.
- APRD. **Michigan State University**. 2018. Disponível em: <http://www.pesticideresistance.org>. Acesso em 01 de jan. 2022.
- APRD. **Michigan State University**. 2021. Disponível em: <http://www.pesticideresistance.org>. Acesso em 05 de out. 2021.
- ATTIQUE, M. N. R.; KHALIQ, A.; SAYYED, A. H. Could resistance to insecticides in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: 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.
- ÁVILA, C. J.; VIVAN, L. M.; TOMQUELSKI, G. V. **Ocorrência, aspectos biológicos, danos e estratégias de manejo de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) nos sistemas de produção agrícolas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste - Circular Técnica, 2013. 12 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 4).
- AYALEW, G. Comparison of yield loss on cabbage from diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) using two insecticides. **Crop Protection**, v. 25, p. 915-919, 2006.
- 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.

BARBOSA, M. G. **Estratégias no manejo de resistência de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) e de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): Rotação de inseticidas e controle biológico com parasitoide.** 2019. 108p. Tese (Doutorado em Agronomia Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

BARROS, R.; VENDRAMIM, J. D. Efeito de cultivares de repolho, utilizados para criação de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), no desenvolvimento de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 28, p. 469-476, 1999.

BERNARDI, O. 2016. Manejo da Resistência de Insetos a Plantas *Bt*. **Manejo Integrado de Pragas**, 2016, ed. PROMIP. Engenheiro Coelho, Brasil.

BERTICAT, C.; BOQUIEN, G.; RAYMOND, M.; CHEVILLON, C. Insecticide resistance genes induce a mating competition cost in *Culex pipiens* mosquitoes. **Genetical Research**, v. 79, p. 41-47, 2002.

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.

BROGDON, W. G.; MCALLISTER, J. C. Simplification of adult mosquito bioassays through use of time–mortality determinations in glass bottles. **Journal American Mosquito Control Association**, v. 14, p. 159–164, 1998.

CARDOSO, M. O.; PAMPLONA, A. M. S. R.; MICHEREFF FILHO, M. **Recomendações técnicas para o controle de lepidópteros-praga em couve e repolho no Amazonas.** Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. 15p. (Circular Técnica, 35).

CARNEIRO, J. da S. **Reconhecimento e controle das principais pragas de campo e de grãos armazenados de culturas temporárias no Amazonas.** Embrapa-Uepae de Manaus, 1983. 82p. (Embrapa-Uepae de Manaus. Circular Técnica, 7).

CASTAGNOLA, A.; JURAT, F. Intestinal regeneration as an insect resistance mechanism to entomopathogenic bacteria. **Current Opinion in Insect Science**, v. 15, p. 104-110, 2016.

CASTELO BRANCO, M.; FRANÇA, F.H.; MEDEIROS, M.A.; LEAL, J. G. T. Uso de inseticidas para o controle da traça-do-tomateiro e traça-das-crucíferas: um estudo de caso. **Horticultura Brasileira**, v. 19, p. 60-63, 2001.

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

CASTELO BRANCO, M.; FRANÇA, F. H.; VILLAS BÔAS G. L. **Traça-das-crucíferas *Plutella xylostella*: artropódes de importância econômica.** Embrapa Hortaliças - Circular Técnica, 1997a. 4 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico, 4).

CASTELO BRANCO, M.; GATEHOUSE, A. G. Insecticide resistance in *Plutella xylostella*

- (Lepidoptera: Plutellidae) in the Federal District, Brazil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 26, p. 75-79, 1997b.
- CASTELO BRANCO, M.; MELO, C.A. Resistência a abamectin e cartap em populações de traça-das-crucíferas. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 541-543, 2002.
- 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 resistances mitigating strategies. **Pest Technology**, v. 4, p. 14-18, 2010.
- COUSTAU, C.; CHEVILLON, C.; FRENCH-CONSTANT, R. Resistance to xenobiotics and parasites: can we count the cost? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, p. 378-383, 2000.
- COYNE, F. P. Proper use of insecticides. **British Medical Journal**, v. 2, p. 911-912, 1951.
- CZEPAK, C.; ALBERNAZ, K.C.; VIVAN, L.M.; GUIMARÃES, H.O.; CARVALHAIS, T. Primeiro registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 110-113, 2013.
- DE BORTOLI, S. A.; POLANCZYK, R. A.; VACARI, A. M.; DE BORTOLI, C. P.; DUARTE, R. T. *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae): tactics for integrated pest management in Brassicaceae. **Weed and pest control - conventional and new challenges- Rijeka: InTech**, p. 31-51, 2013.
- 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.
- DOWD, P. F.; SPARKS, T. C.; MITCHELL, F. L. A microcomputer simulation program for demonstrating the development of insecticide resistance. **Bulletin of the Entomological Society of America**, v. 30, p. 37-41, 1984.
- FATHI, S. A. A.; BOZORG-AMIRKALAEI, M.; SARFARAZ, R. M. Preference and performance of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) on canola cultivars. **Journal of Pest Science**, v. 84, p. 41-47, 2010.
- FFRENCH-CONSTANT, R. H.; BASS, C. Does resistance really carry a fitness cost? **Opinion Insect Science**, v. 21, p. 39-46, 2017.
- FFRENCH-CONSTANT, R. H. Cyclodiene insecticide resistance: from molecular to population genetics. **Annual review of entomology**, v. 45, p. 449-466, 2000.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Novo manual de olericultura. 3ª ed. Viçosa-MG: UFV, 2008. p. 421.
- 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.

GASSMANN, A. J.; CARRIÈRE, Y.; TABASHNIK, B. E. Fitness costs of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, v. 54, p. 147–163, 2009.

GEORGHIOU, G. P.; LAGUNES, A. T. **The occurrence of resistance to pesticides in arthropods**. Rome: FAO, 1991, 318 p.

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

GEORGHIOU, G. P.; TAYLOR, C. E. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. **Journal of Economic Entomology**, v. 70, p. 319-323, 1997a.

GEORGHIOU, G. P.; TAYLOR, C. E. Operational influences in the evolution of insecticide resistance. **Journal of Economic Entomology**, v. 70, p. 653-658, 1997b.

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

GONZÁLEZ, J. C.; HERRERO, S.; SAYYED, A. H.; ESCRICHE, B.; LIU, Y. B.; MEYER, S. K.; WRIGHT, D. J.; TABASHNIK, B. E.; FERRÉ, J. Variation in susceptibility to *Bacillus thuringiensis* toxins among unselected strains of *Plutella xylostella*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 67, p. 4610-4613, 2001.

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

GUANGCHUN, C.; ZHAOJUN, H. Tebufenozide resistance selected in *Plutella xylostella* and its cross resistance and fitness cost. **Pest Management Science**, v. 62, p. 746- 751, 2006.

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.

GUO, L.; DESNEUX, N.; SONODA, S.; LIANG, P.; HAN, P.; GAO, X. W. Sublethal and transgenerational effects of chlorantraniliprole on biological traits of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). **Crop Protection**, v. 48, p. 29-34, 2013.

GUSTAFSON, D. I.; HEAD, G. P.; CAPRIO, M. A. Modeling the impact of alternative hosts on *Helicoverpa zea* adaptation to Bollgard cotton. **Journal of Economic Entomology**, v. 99, p. 2116-2124, 2006.

GROETERS, F. R.; TABASHNIK, B. E.; FINSON, N.; JOHNSON, M. W. Effects of resistance to *Bacillus thuringiensis* on mating success of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 86, p. 1035-39, 1993.

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.

HAMA, H.; SUZUKI, K.; TANAKA, H. Inheritance and stability of resistance to *Bacillus thuringiensis* formulations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 27, p. 355-362, 1992.

HAUBRUGE, E.; ARNAUD, A. Fitness consequences malathion-specific resistance in red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae) and selection for resistance in the absence of malathion. **Journal of Economic Entomology**, v. 94, p. 552-557, 2001.

HEMINGWAY, J.; RANSON, H. Insecticide resistance in insect vectors of human disease. **Annual Review of Entomology**, v. 45, p. 371-391, 2000b.

HEMINGWAY, J.; RANSON, H.; JENSEN, B.; VULULE, J.; WANG, X.; COLLINS, F. Identification of a point mutation in the voltage-gated sodium channel gene of Kenyan *Anopheles gambiae* associated with resistance to DDT and pyrethroids. **Insect Molecular Biology**, v. 9, p. 491-497, 2000a.

HÉRNANDEZ-RODRIGUES, C. Z.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, P.; RIE, J. V.; ESCRICHE, B.; FERRÉ, J. Specific binding of radiolabeled Cry1Fa insecticidal protein from *Bacillus thuringiensis* to midgut sites in lepidopteran species. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, p. 4048-4050, 2012.

HERRERO, S. S. **Los receptores de las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis* y sus implicaciones en el desarrollo de resistencia**. 2002. 111p. Tesis Doctoral - Facultat de Ciències Biològiques, València, Enero, 2002.

HERRERO, S. S.; OPPERT, B.; FERRÉ, J. Different mechanisms of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in the indianmeal moth. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 67, p. 1085-1089, 2001.

HIRAGI, C. K.; SIMÕES.; MARTINS, E.; QUEIROZ, P.; LIMA, L.; MONNERAT, R. Variabilidade Genética em Populações de *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) utilizando marcadores de RAPD. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 542-547, 2009.

IRAC-BR. **Comitê de ação a resistência a inseticidas. Traça-das-crucíferas consegue detectar a presença de inseticidas na planta**. 2016. Disponível em: <https://www.illac-br.org/single-post/2016/03/30/Tra%C3%A7adascruc%C3%ADferas-consegue-detectar-a-presen%C3%A7a-de-inseticidas-na-planta>. Acesso em: 15 de novem. de 2021.

IRAC-BR. **Manejo da resistência de *Spodoptera frugiperda* a inseticidas e plantas Bt**. 2013a. Disponível em: <http://www.illac-online.org/documents/resistencia-de-spodoptera-frugiperda/?ext=pdf>. Acesso em: 14 de novemb. de 2021.

IRAC-BR. **The diamondback moth, *Plutella xylostella*. Resistance management is the key to its control**. 2013b. Disponível em: <http://www.illac-online.org/documents/plutella-xylostella-irm-poster/?ext=pdf>. Acesso em: 14 de jan. de 2021.

IRAC-BR. **Mode of action classification scheme**. 2020. Disponível em: <https://illac-online.org/documents/moa-classification/>. Acesso em: 03 de jan. 2022.

- IQBAL, M.; VERKERK, R. H. J.; FURLONG, M. J.; ONG, P. C.; RAHMAN, S. A.; WRIGHT, D. J. Evidence for resistance to *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) subsp. *kurstaki* HD-1, *Bt* subsp. *aizawai* and abamectin in field populations of *Plutella xylostella* from Malaysia. **Pesticide Science**, v. 48, p. 89-97, 1996.
- 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.
- JEANGUENAT, A. The story of a new insecticidal chemistry class: the diamides. **Pest Management Science**, v. 69, p. 7-14, 2013.
- JOHNSON, D. R. *Plutella maculipennis* resistance to DDT in Java. **Journal of Economic Entomology**, v. 46, p. 176, 1953.
- KAHALIQ, A.; ANTIQUE, M. N. R.; SAYYED, A. H. Evidence for resistance to pyrethroids and organophosphates in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from Pakistan. **Bulletin of Entomological Research**, v. 97, p. 191-200, 2007.
- 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. 249-55, 1988.
- KRISHNAMOORTHY, A. Biological control of diamondback moth *Plutella xylostella* (L.), an Indian scenario with reference to past and future strategies. **Proceedings of the International Symposium**, 2004, ed. AA Kirk, D Bordat, p. 204-211. Montpellier, France: CIRAD.
- KWON, D. H.; CHOI, B. R.; PARK, H. M.; LEE, S. H.; MIYATA, T.; CLARK, J. M.; LEE, S. H. Knockdown resistance allele frequency in field populations of *Plutella xylostella* in Korea. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 80, p. 21-30, 2004.
- LAHM, G. P.; STEVENSON, T. M.; SELBY, T. P.; FREUDENBERGER, J. H.; CORDOVA, D.; FLEXNER, L.; BELLIN, C. A.; DUBAS, C. M.; SMITH, B. K.; HUGHES, K. A.; HOLLINGSHAUS, J. G.; CLARK, C. E.; BENNER, E. A. Rynaxypyr: A new insecticidal anthranilic diamide that acts as a potent and selective ryanodine receptor activator. **Bioorganic Medicinal Chemistry**, v. 17, p. 6274-6279, 2007.
- LATIN AMERICAN CROP PROTECTION ASSOCIATION. **A Shared Vision**. 2002. Disponível em: <https://croplife.org/wp-content/uploads/2002/11/A-Shared-Vision-complete.pdf>. Acesso em: 15 de novem. de 2021.
- LAURENTIS, V. L. **Variabilidade populacional de *Plutella xylostella* (L., 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) e suscetibilidade a *Bacillus thuringiensis* BERLINER**. 2013. 87p. Dissertação (Mestrado em Agronomia Entomologia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.
- 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.

- LEMA, G. Estrategias para el manejo de resistência de las plagas como complemento del MIP: MIP - Manejo integrado de plagas en cultivos y medio ambiente. **Boletín Bogotá**, p. 12-16, 1995.
- LI, T. W.; GAO, X. W.; ZHENG, B. Z.; LIANG, P. Study on genetics of avermectins resistance and population fitness in *Plutella xylostella*. **Acta Entomology Sinica**, v. 43, p. 255–263, 2000.
- LI, X.; SCHULER, M.A.; BERENBAUM, M. R. Molecular mechanisms of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics. **Annual Review Entomology**, v. 52, p. 231-253, 2007b.
- LI, Z.; FENG, X.; LIU, S. S.; YOU, M.; FURLONG, M. J. Biology, ecology, and management of the diamondback moth in China. **Annual Review Entomology**, v. 61, p. 277–296, 2016.
- 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, 2007a.
- LIU, M. Y., CHEN, J. S.; SUN, C. N. Synergism of pyrethroids by several compounds in larvae of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 77, p. 851-856, 1984.
- LIU, M. Y., SUN, C. N.; HUANG, S. W. Absence of synergism of DDT by piperonyl butoxide and DMC in larvae of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 75, p. 964-965, 1982.
- 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.
- MAIS SOJA BR. **Mudanças climáticas podem interferir na resistência a inseticidas**. 2021. Disponível em: <https://maissoja.com.br/mudancas-climaticas-podem-interferir-na-resistencia-a-inseticidas/>. Acesso em: 30 de dez. de 2021.
- MARTINELLI, S.; OMOTO, C. Resistência de lepidóteros-praga a inseticidas na cultura do algodão no Brasil. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 10, p. 1167-1182, 2006.
- MASCARENHAS, R. N.; BOETHEL, D. J.; LEONARD, B. R.; BOYD, M. L.; CLEMENS, C. G. Resistance monitoring to *Bacillus thuringiensis* insecticides for *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) collected from soybean and transgenic *Bt*-cotton. **Journal of Economic Entomology**, v. 91, p. 1044-1050, 1998.
- MCKENZIE, J. A.; BATTERHAM, P. The genetic, molecular and phenotypic consequences of selection for insecticide resistance. **Trends in Ecology e Evolution**, v. 9, p. 166-169, 1994.

- MELO, A. L. A.; SOCCOL, V. T.; SOCCOL, R. C. *Bacillus thuringiensis*: mechanism of action, resistance, and new applications: a review. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 36, p. 317-326, 2014.
- MELO, R. A. C.; MADEIRA, N. R.; LIMA, C. E. P. **Produção de brássicas em Sistema Plantio Direto**. Embrapa Hortaliças (INFOTECA-E), 2016. 15p. (Circular Técnica, 151).
- MILLER, A. L.; TINDALL, K.; LEONARD, B. R. Biossays for Monitoring Insecticide Resistance. **Journal of Visualized Experiments**, v. 46, e2129, 2010.
- MOHAN, M.; GUJAR, G. Local variation in susceptibility of the diamondback moth, *Plutella xylostella* to insecticides and role of detoxification enzymes. **Crop Protection**, v. 22, p. 495-504, 2003.
- MONNERAT, R. G.; LEAL-BERTIOLI, S. C. M.; BERTIOLI, D. J.; BUTT, T. M.; BORDAT, D. Caracterização de populações geograficamente distintas da traçadas-crucíferas por suscetibilidade ao *Bacillus thuringiensis* Berliner e RAPD-PCR. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 607-609, 2004.
- MONNERAT, R. S.; BRAVO A. Proteínas bioinseticidas produzidas pela bactéria *Bacillus thuringiensis*: Modo de ação e Resistência, p. 163-200. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L **Controle Biológico**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. Cap. 3, 264p.
- MONTELLA, I. R. Insecticide resistance mechanisms of Brazilian *Aedes aegypti* populations from 2001 to 2004. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 77, p. 467-477, 2007.
- NANSEN, C.; BAISSAC, O.; NANSEN, M.; **Behavioral Avoidance - Will Physiological Insecticide Resistance Level of Insect Strains Affect Their 59 Oviposition and Movement Responses?** PLoS ONE, Davis, v. 11, n. 3, 2016. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0149994>> Acesso em: 15 novem. 2021.
- OLIVEIRA, A. C.; SIQUEIRA, H. A.; OLIVEIRA, J. V.; SILVA, J. E.; MICHEREFF-FILHO, M. Resistance of brasilian diamondback moth populations to insecticides. **Scientia Agricola**, v. 68, p. 154-159, 2011.
- OWEN, N. L.; CATCHOT, A. L.; MUSSER, F. R.; GORE, J.; COOK, D. C; JACKSON, R. Susceptibility of *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) to Reduced-Risk Insecticides. **Florida Entomologist**, v. 96, p. 554-559, 2013.
- PATIL, N. S.; LOLE, K. S.; DEOBAGKAR, Y. D. N. Adaptive larval ihermo-tolerance and induced cross-tolerance to propoxur insecticide in mosquitoes *Anopheles stephensi* and *Aedes aegypti*. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 10, p. 277-82, 1996.
- 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.
- PRASHANT, K.; PRASAD, C. S.; TIWARI, G. N. Population intensity of insect pests of

cabbage in relation to weather parameters. **Annals of Plant Protection Sciences**, v, 15, p. 245-246, 2007.

PROMIP. **Resistência de Pragas à Inseticidas: O MIP é a única saída para evitar esse problema**. 2016. Disponível em: <https://promip.agr.br/blog-2016-06-resistencia-de-pragas-a-inseticidas-o-mip-e-a-unica-saida-para-evitar-esse-problema-2completo/>. Acesso em: 31 de dez. de 2021.

REDDY, G. V. P.; TABONE, E.; SMITH, M. T. Mediation of the host selection and oviposition behavior in the diamondback moth *Plutella xylostella* and its predator *Chrysoperla carnea* by chemical cues from cole crops. **Biological Controls**, v. 29, p. 270-277, 2004.

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, 2014.

RIVERO, A.; MAGAUD, A.; NICOT, A.; VÉZILIER, J. Energetic cost of insecticide resistance in *Culex pipiens* mosquitoes. **Journal of Medical Entomology**, v. 48, p. 694–700, 2011.

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

SANTOS, V.; SIQUEIRA, H. A. A.; SILVA, J. E.; FARIAS, M. J. D. C. Insecticide resistance in populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), from the state of Pernambuco, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 40, p. 264-270, 2011.

SARFRAZ, M.; KEDDIE, B. A. Conserving the efficacy of insecticides against *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). **Blackwell Verlag**, p.149–157, 2005.

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

SAYYED, A. H.; OMAR, D.; WRIGHT, D. J. Genetics of spinosad resistance in a multiresistant field-selected population of *Plutella xylostella*. **Pest Management Science**, v. 60, p. 827-832, 2004.

SAYYED, A. H.; SAEED, S.; NOOR-UL-ANE, M.; CRICKMORE, N. Genetic, biochemical, and physiological characterization of spinosad resistance in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 101, p. 1658-1666, 2008.

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.

SHELTON, A. M.; WYMAN, J. A. Insecticide resistance of diamondback moth in North America. **See Ref**, v. 168, p. 447-54, 1992.

- 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.
- SILVA, E. J.; SIQUEIRA, H. A. A.; SILVA, T. B. M.; CAMPOS, R. M. Baseline susceptibility to chlorantraniliprole of Brazilian populations of *Plutella xylostella*. **Crop Protection**, v. 35, p. 97-101, 2012b.
- SILVA JÚNIOR, A. A. **Repolho: filosofia, fitotecnia, tecnologia alimentar e mercadologia**. Florianópolis: EMPASC, p. 295, 1987.
- SILVA, R.; FURLONG, M. J. Diamondback moth oviposition: effects of host plant and herbivory. **Entomology Experimentalis et Applicata**, v. 143, p. 218-230, 2012a.
- SPARKS, T. C., NAUEN, R. Mode of action classification and insecticide resistance management. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 121, p. 122-128, 2015.
- STEINBACH, D.; MORITZ, G.; NAUEN, 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.
- 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.
- SUN, C. Insecticide resistance in diamondback moth. In: TALEKAR, S. (ed.). **Management of Diamondback Moth and other Crucifer Pests: Proceedings of the Second International Workshop, Asian Vegetable Research and Development Center**. Shanhua: Taiwan, 1992. p. 51-56.
- TABASHNIK, B. E., CUSHING, N. L.; FINSON, N.; JOHNSON, M. W. Field development of resistance to *Bacillus thuringiensis* in Diamondback Moth (Lepidoptera, Plutellidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 83, p. 1671-1676, 1990.
- TABASHNIK, B. E.; LIU, Y. B.; FINSON, N.; MASSON, L.; HECKEL, D. G. One gene in diamondback moth confers resistance to four *Bacillus thuringiensis* toxins. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 94, p. 1640-1644, 1997.
- TALEKAR, N. S.; SHELTON, A. M. Biology, ecology, and management of the diamondback moth. **Annual Review of Entomology**, v. 38, p. 275-301, 1993.
- TANG, J. D. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* spore and crystal protein to resistant diamondback moth. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 62, p. 564-569, 1996.
- TOSCANO, L. C.; CALADO FILHO, G. C.; CARDOSO, A. M.; MARUYAMA, W. I.; TOMQUELSK, G. V. Impacto de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) e seus inimigos naturais em milho safrinha cultivado em Cassilândia e Chapadão do Sul, MS. **Arquivos do Instituto Biológico de São Paulo**, v. 79, p.223-231, 2012.

- TROCZKA, B.; ZIMMER, C. T.; ELIAS, J.; SCHORN, C.; BASS, C.; DAVIES, T. G. E.; FIELD, L. M.; WILLIAMSON, M. S.; SLATER, R.; NAUEN, R. Resistance to diamide insecticides in diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) is associated with a mutation in the membrane spanning domain of the ryanodine receptor. **Insect Biochemistry and Molecular Biology**, v. 42, p. 873–880, 2012.
- ULMER, B.; GILLOTT, C.; WOODS, C.; ERLANDSON, M. 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. 102p. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.
- VALICENTE, F. H.; TUELHER, E. S. Controle biológico da lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda*, com *Baculovirus*. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2009. 14 p. (Circular Técnica, 114).
- VAN RIE, J.; FERRÉ J. Insect resistance to *Bacillus thuringiensis* crystal proteins, In: CHARLES, J. F.; DELECLUSE A.; NIELSEN-LEROUX, C. (ed). **Entomopathogenic Bacteria**. Kluwer Academic Publications, 2000. p. 219-237.
- VILLAS BOAS, G. L. Atenção no controle: Técnicas simples de manejo auxiliam a diminuir a população de traça-das-crucíferas, que ataca principalmente cultivos de repolho, couve, couve-flor e brócolis. **Revista Cultivar Hortaliças e Frutas**, Porto Alegre, n. 7, 2001.
- VILELA, M. R. Brássicas, hortaliças de alto valor alimentício. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 9, p. 58, 1983.
- WANG, R.; WU, Y. D. Dominant fitness costs of abamectin resistance in *Plutella xylostella*, **Pest Management Science**, v. 70, p. 1872-1876, 2014.
- WANG, X.; WU, Y. High levels of resistance to chlorantraniliprole evolved in field populations of *Plutella xylostella*. **Journal of Economic Entomology**, v. 105, p. 1019-1023, 2012.
- WILLE, P. E. **Subsídios para o manejo sustentável de *Chrysodeixis includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) em soja**. 2016. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina UDESC– Campus Lages, 2016.
- WU, K. M.; GUO, Y. Y. The evolution of cotton pest management in China. **Annual Review of Entomology**, v. 50, p. 31-52, 2005.
- YAN, G.; CHADEE, D.; SEVERSON, D. Evidence for genetic hitchhiking effect associated with insecticide resistance in *Aedes aegypti*. **Genetics**, v. 2, p. 793-800, 1998.
- YU, H.; NGUYEN, S. N. Detection and Biochemical Characterization of Insecticide Resistance in the Diamondback Moth. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 4, p. 74-81,

1992.

- ZAGO, H. B.; SIQUEIRA, H. A. A.; PEREIRA, E. J. G.; 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, 2014.
- 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* (Lepidoptera: Plutellidae): 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, p.515–530, 2015.
- ZHANG, S.; ZHANG, X.; SHEN, J.; MAO, K.; YOU, H.; LI, J. Susceptibility of field populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, to a selection of insecticides in Central China. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 133, p. 18-46, 2016.
- ZHANG, X. Y.; JIE, H.; YE, C. Y.; XUE, Y. Monitoring on the resistance of diamond back moth to abamectin and field control experiments in Yunnan. **Journal of Huazhong Agricultural University**, v. 20, p. 426-430, 2001.
- ZHAO, J. Z.; COLLINS, H. L.; LI, Y. X.; MAU, R.F.L.; THOMPSON, G. D.; HERTLEIN, M.; ANDALORO, J.T.; BOYKIN, R.; SHELTON, A. M. Monitoring of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad, indoxacarb, and emamectin benzoate. **Journal of Economic Entomology**, v. 99, p. 176-181, 2006.
- ZHAO, J. Z.; LI, Y. X.; COLLINS, H. L.; GUSUKUMA-MINUTO, L.; MAU, R. F. L.; THOMPSON, G. D.; SHELTON, A. M. Monitoring and characterization of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad. **Journal of Economic Entomology**, v. 95, p. 430-436, 2002.
- ZHOU, L.; HUANG, J.; XU, H. Monitoring resistance of field populations of diamondback moth *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) to five insecticides in South China: A ten-year case study. **Crop Protection**, v. 30, p. 272-278, 2010.