

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CAMPUS DE JABOTICABAL

**TOXICIDADE DE INDOXACARBE EM DUAS
POPULAÇÕES DE *Plutella xylostella* (LINNAEUS, 1758)
(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)**

Amanda Aparecida Fernandes Lemes

Engenheira Agrônoma

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CAMPUS DE JABOTIABAL

**TOXICIDADE DE INDOXACARBE EM DUAS
POPULAÇÕES DE *Plutella xylostella* (LINNAEUS, 1758)
(LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)**

Amanda Aparecida Fernandes Lemes

Orientador: Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli

Coorientadora: Profa. Dra. Alessandra Marieli Vacari

**Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias -
Unesp, Campus de Jaboticabal, como
parte das exigências para a obtenção
do título de Mestre em Agronomia
(Entomologia Agrícola)**

2017

L552t Lemes, Amanda Aparecida Fernandes
Toxicidade de indocaxarbe em duas populações de *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae) / Amanda Aparecida Fernandes Lemes. – – Jaboticabal, 2017
x, 52 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Sergio Antonio De Bortoli
Coorientadora: Alessandra Marieli Vacari
Banca examinadora: Raphael de Campos Castilho, Roberto
Marchi Goulart
Bibliografia

1. Oxadiazina. 2. Traça-das-crucíferas. 3. MIP 4. Tabela de vida. 5.
Custo adaptativo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

CDU 595.782:632.951

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: TOXICIDADE DE INDOXACARBE EM DUAS POPULAÇÕES DE *Plutella xylostella* (LINNAEUS, 1758) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)

AUTORA: AMANDA APARECIDA FERNANDES LEMES

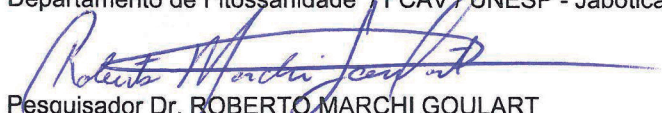
ORIENTADOR: SERGIO ANTONIO DE BORTOLI

COORIENTADORA: ALESSANDRA MARIELI VACARI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (ENTOMOLOGIA AGRÍCOLA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. SERGIO ANTONIO DE BORTOLI
Departamento de Fitossanidade / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Pesquisador Dr. ROBERTO MARCHI GOULART
SGS do Brasil Ltda. / Piracicaba/SP



Prof. Dr. RAPHAEL DE CAMPOS CASTILHO
Departamento de Fitossanidade / UNESP - Câmpus de Jaboticabal

Jaboticabal, 09 de outubro de 2017

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

AMANDA APARECIDA FERNANDES LEMES - Nascida em 01 de outubro de 1992, na cidade de Jundiaí, São Paulo, Brasil. É Engenheira Agrônoma graduada pela ESALQ/USP Campus Piracicaba – SP, em dezembro de 2014. As atividades de pesquisa em entomologia iniciaram-se no estágio supervisionado em entomologia no Laboratório de Resistência de Artrópodes a Táticas de Controle com a supervisão do Prof. Dr. Celso Omoto na mesma unidade, de dezembro de 2012 a dezembro de 2013, e, posteriormente, seguindo com a realização do Trabalho de Conclusão de Curso no Laboratório de Ecologia Química e Comportamento de Insetos com a orientação do Prof. Dr. José Maurício Simões Bento na mesma unidade, em janeiro de 2014 a novembro de 2014. Em agosto de 2015 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Entomologia Agrícola) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp, Campus de Jaboticabal, no Laboratório de Biologia e Criação de Insetos sob a orientação do Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli, sendo bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) no período de agosto de 2015 a agosto de 2017.

“O tempo muito me ensinou: ensinou a amar a vida, não desistir de lutar,
renascer na derrota, renunciar às palavras e pensamentos negativos, acreditar
nos valores humanos, e a ser otimista.
Aprendi que mais vale tentar do que recuar...
Antes acreditar do que duvidar, que o que vale na vida, não é o ponto de
partida e sim a nossa caminhada”.

Cora Coralina

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus avós, Jandyra e José, pelo carinho e amor incondicional. Sempre me apoiando e presentes na minha vida.

À minha mãe Valéria, meu pai Amauri e meu padrasto Marcelo, pela educação, conselhos, apoio e amor incondicional em todos os momentos de minha vida.

À minha madrinha, Carmen, pelo amor e dedicação.

À minha irmã mala, Marcela, pelo carinho.

Ao meu noivo, Eduardo, com quem tenho a alegria de compartilhar minha vida, pelo amor, paciência, visitas e cuidado. Agradeço a Deus por ter colocado alguém tão especial em minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

A Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal e ao Departamento de Fitossanidade, pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Sergio Antonio De Bortoli, pela orientação, paciência e ensinamentos.

À Profa. Dra. Alessandra Marieli Vacari, pós-doutoranda do Laboratório de Biologia e Criação de Insetos (LBCI) e amiga, pela paciência, apoio e auxílio em todas as etapas deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Raphael De Campos Castilho e Dr. Roberto Marchi Goulart pela disponibilidade em participar da banca examinadora, pelas ótimas sugestões e correções, com o intuito de aprimorar este trabalho.

À DuPont Brasil, em especial à Marina e ao Guilherme, pela doação do produto utilizado neste trabalho.

À equipe do LBCI (Valéria Lucas de Laurentis, Caroline Placidi De Bortoli, Vanessa Fabíola Pereira de Carvalho, Natalia Fernanda Vieira, Nathália Alves dos Santos, Thamiris Porto Sipriano Nascimento, Warner Gasparini Cardoso, Rafael Ferreira dos Santos, Caio Cesar Truzi, Dagmara Gomes Ramalho, Camila Pires Cardoso e Gilmar da Silva Nunes), por terem contribuído de alguma forma para o meu projeto.

Aos professores e funcionários do Departamento de Fitossanidade, pela dedicação e aos serviços prestados.

A todos meus colegas de pós-graduação, em especial Barbara Rodrigues Junqueira, Caio Cesar Truzi, Camila Pires Cardoso, Cícero Antonio Mariano dos Santos, Diandro Barilli, Gilmar da Silva Nunes, Natalia Fernanda Vieira e Thamiris Porto Sipriano Nascimento, por sofrermos juntos, pelos momentos de descontração e por tornarem a nossa turma muito especial, unida e descontraída.

Aos meus pais e familiares, pelo incentivo, companheirismo, carinho e amor incondicional. Sempre me apoiando e presentes na minha vida.

À minhas amigas de Jundiaí e de Piracicaba que guardo no meu coração com muito carinho.

E a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Brassicáceas: aspectos gerais	3
2.2. <i>Plutella xylostella</i>	4
2.2.1. Ocorrência e distribuição	4
2.2.2. Aspectos morfológicos e biológicos	5
2.2.3. Danos e prejuízos	7
2.2.4. Controle	8
2.3. Indoxacarbe	9
2.3.1. Resistência a inseticidas	11
2.3.2. Manejo de resistência a insetos	13
2.4. Efeitos subletais em insetos como ferramenta para o MIP	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Obtenção e criação de <i>Plutella xylostella</i>	15
3.2. Obtenção do agrotóxico	17
3.3. Bioensaios com <i>Plutella xylostella</i>	17
3.3.1. Efeito residual	17
3.3.2. Testes para a estimativa da Concentração Letal (CL ₅₀)	19
3.3.3. Efeitos subletais	20
3.4. Análise estatística	22

4. RESULTADOS	23
4.1. Efeito residual	23
4.2. Estimativa da CL ₅₀ e concentrações subletais.....	24
4.3. Efeitos subletais de indoxacarbe em <i>Plutella xylostella</i>	24
4.3.1. Consumo foliar	24
4.3.2. Sobrevivência larval, sobrevivência pupal, peso pupal e período pupal	25
4.3.3. Fecundidade de fêmeas	26
4.3.4. Longevidade de adultos	27
4.3.5. Crescimento e desenvolvimento da prole	29
5. DISCUSSÃO	30
6. CONCLUSÕES	38
7. REFERÊNCIAS	38

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Mortalidade (%) de lagartas de segundo ínstar de populações suscetível e de campo de <i>Plutella xylostella</i> em plantas de couve com resíduo de indoxacarbe.	24
Tabela 2. Toxicidade de indoxacarbe para lagartas de segundo ínstar de <i>Plutella xylostella</i>	24
Tabela 3. Consumo foliar de lagartas das populações suscetível e de campo de <i>Plutella xylostella</i> submetidas a sudosagens de indoxacarbe.	25
Tabela 4. Sobrevivência larval e pupal de populações suscetível e de campo de <i>Plutella xylostella</i> submetidas a concentrações subletais de indoxacarbe.	26
Tabela 5. Período pupal e peso de pupas de populações suscetível e de campo de <i>Plutella xylostella</i> submetidas a concentrações subletais de indoxacarbe. ...	26
Tabela 6. Fecundidade de fêmeas e viabilidade de ovos de populações suscetível e de campo de <i>Plutella xylostella</i> submetidas a concentrações subletais de indoxacarbe.	27
Tabela 7. Longevidade de adultos (dias) de populações suscetível e de campo de <i>Plutella xylostella</i> submetidas a sudosagens de indoxacarbe.	27
Tabela 8. Parâmetros de tabela de vida de fertilidade para população suscetível de <i>Plutella xylostella</i> submetida a concentrações subletais de indoxacarbe.	29
Tabela 9. Parâmetros de tabela de vida de fertilidade para população de campo de <i>Plutella xylostella</i> submetida a concentrações subletais de indoxacarbe.	30

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 . Macho (A e B) e fêmea (C e D) de <i>Plutella xylostella</i> e o dimorfismo sexual no aparelho reprodutor (Vieira, 2016).....	6
Figura 2. Esquema de criação de <i>Plutella xylostella</i> descrito por Thuler (2009).	16
Figura 3. (A) Gaiola com o “voile”; (B) Gaiola antes da inoculação das lagartas de segundo ínstar de <i>Plutella xylostella</i> ; (C) Gaiola 1 semana depois da inoculação; (D) Detalhe das pupas sobreviventes.	19
Figura 4. (A) Tratamento dos discos de folhas de couve; (B) Medição da área foliar; (C) Placa com disco de couve tratado e lagartas de <i>Plutella xylostella</i> ; (D) Placa tipo Elisa® com pupas de <i>P. xylostella</i> ; (E) Gaiola para avaliação da longevidade e oviposição; (F) Avaliação da viabilidade de ovos.	21
Figura 5. Sobrevivência de adultos da população suscetível de <i>Plutella xylostella</i> submetidos a doses subletais de indoxacarbe (Log-Rank $\chi^2 = 8,90$; DF = 3; P = 0,0306).	28
Figura 6. Sobrevivência de adultos da população de campo de <i>Plutella xylostella</i> submetidos a doses subletais de indoxacarbe (Log-Rank $\chi^2 = 5,24$; DF = 3; P = 0,1547).	28

TOXICIDADE DE INDOXACARBE EM DUAS POPULAÇÕES DE *Plutella xylostella* (LINNAEUS, 1758) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)

RESUMO- Um dos principais problemas para o cultivo de brássicas é o dano causado pela traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae), o que implica na aplicação de grandes volumes de agrotóxicos. Diversos inseticidas são empregados no controle de *P. xylostella*. Indoxacarbe foi o primeiro inseticida bloqueador de canais de sódio comercializado, com mecanismo de ação diferente do DDT e dos piretroides, apresentando várias vantagens, como baixa toxicidade aos organismos benéficos. Porém, aplicações frequentes de inseticidas para controle de *P. xylostella*, combinado com fatores biológicos da praga, podem favorecer a seleção de indivíduos resistentes. Até o momento, *P. xylostella* desenvolveu níveis de resistência a 95 ingredientes ativos, existindo na literatura mais de 55 relatos de resistência para o indoxacarbe, em sete países de diferentes continentes, inclusive no Brasil. Nesse sentido, este estudo objetivou determinar os efeitos subletais e residuais do indoxacarbe em duas populações de *P. xylostella*, sendo uma coletada no campo e outra de laboratório (suscetível), avaliando e comparando a toxicidade desse inseticida em diferentes concentrações e analisando o comportamento destas duas populações e assim formar uma base teórica para melhorar o manejo desta praga. Foram realizados bioensaios com duas populações (PC- de campo e PL- de laboratório-suscetível) de *P. xylostella* com o inseticida indoxacarbe na dose comercial (100mg.L^{-1}), avaliando os efeitos residuais do produto 1, 3, 7, 14 e 21 dias após a aplicação. Também foi estimada a CL_{50} e avaliados os efeitos subletais desse produto aplicado e avaliado após 48 h utilizando-se as concentrações subletais de CL_5 (0,37 e $1,01\text{ mg.L}^{-1}$), CL_{15} (0,87 e $2,06\text{ mg.L}^{-1}$) e CL_{25} (1,44 e $3,16\text{ mg.L}^{-1}$) para as populações PL e PC, analisando-se algumas características biológicas das populações. A dose comercial de indoxacarbe pulverizada em plantas de couve matou todas as larvas com 1 dia e 3 dias após a aplicação. Os bioensaios de imersão foliar mostraram que o indoxacarbe apresentou alto nível de toxicidade para as lagartas de *P. xylostella* e os valores de CL_{50} foram de 3,7 e $6,9\text{ mg.L}^{-1}$ para a população suscetível e de campo, respectivamente. Os efeitos subletais foram indicados por menor sobrevivência larval e pupal e diminuição das taxas de sobrevivência da prole, devido ao efeito crônico do inseticida para ambas as populações. Houve também um aumento no consumo foliar e diminuição na sobrevivência de adultos na população suscetível e diminuição da fecundidade na população de campo. Os valores médios das taxas reprodutiva líquida (R_0), intrínseca de aumento (r_m) e de crescimento finito (λ) foram significativamente menores nos tratamentos do que no grupo controle para ambas as populações. Houve diferença significativa entre as respostas das duas populações. O indoxacarbe mostrou-se eficaz contra *P. xylostella*, sendo que suas concentrações subletais influem negativamente nas características biológicas do inseto.

Palavras-chave: Oxadiazina; traça-das-crucíferas; MIP; tabela de vida; custo adaptativo.

INDOXACARBE TOXICITY IN TWO POPULATIONS OF *Plutella xylostella* (LINNAEUS, 1758) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)

ABSTRACT- The main problem for brassica crops is the damage caused by the diamondback moth, *Plutella xylostella*, which has led to the application of large volumes of pesticides. Several insecticides are employed in the control of *P. xylostella*. Indoxacarb was the first commercially available sodium channel blocker insecticide, with a different mechanism of action than DDTs and pyrethroids, has several advantages, such as low toxicity to beneficial organisms. However, frequent applications of these insecticides to control *P. xylostella*, combined with biological factors of the pest are favoring the selection of resistant individuals. So far *P. xylostella* has developed levels of resistance to 95 active ingredients and there are in the literature more than 55 reports of resistance to indoxacarb in seven countries on different continents, including Brazil. In this sense, the objective was to determine the residual and sublethal effects of indoxacarb in two populations of *P. xylostella*, one collected in the field and the other in the laboratory (susceptible), evaluating and comparing the toxicity of this insecticide in different concentrations and analyzing the behavior of these two populations and thus form a theoretical basis to improve the management of this pest. Bioassays were performed with two populations (PC-field and PL-laboratory) of *P. xylostella* with the insecticide in commercial dose indoxacarb (100 mg.L^{-1}), evaluating the effects of residual products 1, 3, 7, 14 and 21 days after spray. LC_{50} was also estimated and the sublethal effects of this product applied and evaluated after 48 h were evaluated using the sublethal concentrations of LC_5 (0.37 and 1.01 mg.L^{-1}), LC_{15} (0.87 and 2.06 mg.L^{-1}) and LC_{25} (1.44 and 3.16 mg.L^{-1}) for PL and PC populations by analyzing some biological characteristics of the individuals. The commercial dose of indoxacarb sprayed on cabbage plants killed all larvae up to 1 day and 3 days after spray. Leaf-dip bioassays showed that indoxacarb showed a high level of toxicity against *P. xylostella* larvae and the 48 h LC_{50} values were 3.7 and 6.9 mg.L^{-1} for the susceptible and field population, respectively. The sublethal effects were indicated by lower larval and pupal survival and decrease in offspring survival rates, due to the chronic effect of the insecticide for both populations. There was also an increase in foliar consumption and a decrease in adult survival in the susceptible population and decrease in fecundity in the field population. The mean values of net reproductive rate (R_0), intrinsic rate of increase (r_m), finite rate of increase (λ) were significantly lower in the treatments than in the control group for both populations. There were significant differences between the responses of the two populations. The indoxacarb was effective against *P. xylostella* and its sublethal concentrations negatively influence the biological characteristics of the insect.

Keywords: Oxadiazine; diamondback moth; IPM; life table; adaptive cost.

1. INTRODUÇÃO

A família Brassicaceae destaca-se entre as olerícolas, sendo o gênero *Brassica* o de maior importância econômica, compreendendo espécies como repolho, couve-flor, couve e brócolis (FILGUEIRA, 2008; CARTEA et al, 2011). As plantas pertencentes a esta família são cultivadas em todo o mundo, por possuírem elevada adaptação a diferentes condições climáticas (HONG et al., 2008).

Um dos principais problemas para o cultivo de brássicas é o dano causado pela traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae), uma espécie originária da Europa Mediterrânea e que atualmente encontra-se disseminada por todos os continentes (FROST, 1949; TALEKAR; SHELTON, 1993; CHAPMAN et al., 2002). O dano das traças-das-crucíferas nas plantas é causado pela alimentação das lagartas, acarretando na desvalorização do produto final, retardamento no desenvolvimento e até a morte da planta (CASTELO BRANCO et al., 1997; CAPINERA, 2015). No Estado de São Paulo, esta praga pode reduzir em até 60% a produção de repolho (IMENES et al., 2002; VACARI et al., 2008) e na cultura da couve as perdas podem chegar a 95%, variando de acordo com a região e a época de cultivo (CZEPAK et al., 2005).

Para o seu controle são utilizados extensivamente os inseticidas químicos, que em um primeiro momento podem apresentar resultados mais rápidos e até eficientes (TALEKAR; SHELTON, 1993; CASTELO BRANCO; FRANÇA, 2015).

Diversos inseticidas, de diferentes grupos químicos, são empregados para o controle de *P. xylostella* (CASTELO BRANCO; FRANÇA, 2015; AGROFIT, 2017). Os inseticidas que atuam no sistema nervoso e muscular são os mais numerosos no mercado (IRAC, 2016; AGROFIT, 2017). O indoxacarbe é um inseticida neurotóxico, relativamente novo, presente no mercado há menos de 20 anos, que atua como bloqueador de canais de sódio dependentes da voltagem, ou seja, onde o potencial de repouso está próximo do limite, na zona de iniciação do pico do impulso nervoso, e sua ativação inicia seu potencial de ação (WING et al., 1998; MARÇON, 2004; SILVER et al., 2010).

Porém, aplicações frequentes de inseticidas para controle de *P. xylostella*, em geral 15 a 20 por ciclo das culturas de brássicas, combinado a fatores biológicos, como elevado número de gerações anuais e alta fecundidade da praga, podem favorecer a seleção de indivíduos resistentes, tornando *P. xylostella* uma das espécies-praga mais difíceis de se controlar (TALEKAR; SHELTON, 1993; CASTELO BRANCO et al., 2001; THULER, 2006).

Historicamente são relatados casos de resistência a uma ampla gama de inseticidas, como spinosad, avermectinas, indoxacarbe, metaflumizone e toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis* (TABASHNIK et al., 1990; SAYYED; WRIGHT, 2006; ZHAO et al., 2006; WANG et al., 2016). Até o momento, *P. xylostella* desenvolveu resistência a mais de 90 ingredientes ativos (APRD, 2017). Para o indoxacarbe, produto utilizado neste estudo, há na literatura mais de 55 relatos de resistência em sete países de diferentes continentes, inclusive no Brasil, no estado de Pernambuco, sendo que há reivindicações de falhas de controle para esse inseticida em diferentes estados (SANTOS et al., 2011; APRD, 2017).

A evolução da resistência aos inseticidas pode variar de acordo com aspectos genéticos, biológicos e ecológicos da população, podendo causar aos insetos resistentes uma desvantagem em relação aos suscetíveis, quando não há a pressão de seleção em vigor no ambiente (GEORGHIOU; TAYLOR, 1977a; COUSTAU et al., 2000; ARNOUD; HAUBRUGE, 2002). Assim, o conhecimento da biologia da praga-alvo é essencial para a composição do plano de manejo da resistência de insetos (MRI) aos produtos químicos (GEORGHIOU; TAYLOR, 1977b).

As respostas de doses subletais dos inseticidas em uma população de insetos também devem ser examinadas em bioensaios laboratoriais, pois organismos que sobrevivem a determinada dose ainda podem causar danos para a cultura (ROBERTSON; WORTER, 1990; STARK; BANKS, 2003). O estudo desses efeitos, aliados a análises de tabelas de vida, auxiliam na avaliação correta da eficiência dos produtos, e dessa maneira, podem coordenar ações de MIP (HAN et al., 2012).

A fim de prolongar a vida útil do indoxacarbe, um produto relativamente novo no mercado, porém que já apresenta casos de resistência no Brasil e no

mundo, buscou-se caracterizar seus efeitos em diferentes populações de *P. xylostella*, sendo uma delas onde já se utilizava indoxacarbe para o seu controle.

Neste sentido, este estudo objetivou determinar os seus efeitos residuais, letais e subletais em duas populações de *P. xylostella*, sendo uma coletada no campo (previamente em contato com o produto) e outra de laboratório (sem contato com o produto, sendo considerada população suscetível), verificando-se se há diferenças ou não entre a toxicidade desse inseticida e seus efeitos subletais nas duas populações, de forma comparativa e se há a presença de características de custo adaptativo, se a população de campo mostrar-se mais resistente que a de laboratório.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Brassicáceas: aspectos gerais

A família Brassicaceae (anteriormente denominada Cruciferae) é um grupo monofilético, que compreende 338 gêneros e mais de 3700 espécies, incluindo hortaliças, oleaginosas, ornamentais, forragens e condimentos (AL-SHEHBAZ et al, 2006; CARTEA et al, 2011; BERRY, 2015). As plantas pertencentes a esta família são cultivadas em todo o mundo, por possuírem elevada adaptação às variações climáticas (HONG et al, 2008).

As brassicáceas estão entre as mais antigas plantas cultivadas, com registros escritos que datam de 1.500 a.C, onde os antigos gregos, romanos, indianos e chineses as utilizavam extensamente como fonte de alimento e compostos medicinais (RAYMER, 2002; CARTEA et al, 2011). Oriundas da Costa do Mediterrâneo, elas foram espalhadas por toda a Europa, sendo introduzidas no Brasil no período de imigração europeia (CEASA, 2017).

Esta família destaca-se entre as olerícolas, sendo o gênero *Brassica* o de maior importância econômica, compreendendo espécies como: couve (*Brassica oleracea* L. var. *acephala* DC.), repolho (*B. oleracea* L. var. *capitata* L.), couve-flor (*B. oleracea* L. var. *botrytis* L.), brócolis (*B. oleracea* L. var. *italica* Plenck), nabo-comprido [*B. rapa* L. var. *rapa* (L.) Hartm] e couve-chinesa (*B.*

pekinensis L.) (FILGUEIRA, 2008; CARTEA et al, 2011). Na Europa há grande variabilidade genética e fenotípica de *B. oleracea*, enquanto a Ásia representa a principal área de diversificação de *B. rapa* (CARTEA et al, 2011).

As brássicas são espécies amplamente estudadas devido à sua qualidade nutricional e propriedades anticancerígenas, anti-inflamatórias e antioxidantes. Com alto valor em vitaminas, fibras e minerais, possuem grandes quantidades de compostos fenólicos secundários, denominados de glucosinolatos (como a sinigrina), que as diferenciam dos outros vegetais (DIXON, 2007; CARTEA et al, 2011).

No Brasil, as brassicáceas são cultivadas principalmente na região centro-sul, nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina (MAY et al., 2007; FILGUEIRA, 2008). Seu preço se mantém estável ao longo dos anos, para a couve-flor, por exemplo, observa-se que os meses de maio a outubro apresentam a maior oferta, e os maiores preços ocorrem nos meses de janeiro a abril (CEASA, 2017). A couve-flor e o repolho representaram o terceiro e o sexto produtos com maior valor de produção rural na olericultura no ano de 2014 (SEAB, 2016).

Entretanto, uma das barreiras para o cultivo deste grupo no Brasil tem sido o ataque de insetos-praga, com destaque para os pulgões, como o pulgão da couve *Brevicoryne brassicae* (L., 1758) (Hemiptera: Aphididae) e o pulgão verde *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Hemiptera: Aphididae); mosca-branca *Bemisia tabaci* (Genn., 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) e lepidópteros como *Ascia monuste orseis* (Godart, 1818) (Lepidoptera: Pieridae), *Trichoplusia ni* (Hubner, 1803) (Lepidoptera: Noctuidae) e a traça das crucíferas *P. xylostella* (GODIN; BOVIN, 1998; GALLO et al., 2002), sendo, esta última, considerada a mais destrutiva, responsável por perdas de até 95% na produção de brassicáceas (MEDEIROS et al., 2006).

2.2. *Plutella xylostella*

2.2.1. Ocorrência e distribuição

Embora a origem da traça das crucíferas seja incerta, acredita-se ser oriunda da Europa Mediterrânea, sítio de origem das Brassicáceas, devido a suas estreitas relações (FROST, 1949). Sua dispersão para outras partes do mundo foi realizada por meio da expansão de suas culturas hospedeiras, além da própria migração a longas distâncias (CASTELO BRANCO; FRANÇA, 2015). Desde a antiguidade, adultos de *P. xylostella* são conhecidos por apresentarem comportamento migrante transoceânico, podendo atingir distâncias maiores que 3000 km em voo ininterrupto e por diversos dias, quando os ventos são favoráveis; são encontradas em áreas onde não poderiam sobreviver durante o inverno, como certas regiões do Canadá (CHU, 1986; CAPINERA, 2015).

Devido a esse potencial de dispersão, *P. xylostella* é considerada uma praga cosmopolita, ocorrendo em diversas partes do mundo, tanto em regiões tropicais e subtropicais, quanto em zonas temperadas (CHAPMAN et al., 2002). No Brasil, o seu primeiro registro foi realizado na Bahia por Bondar (1928), em cultivares de repolho.

2.2.2. Aspectos morfológicos e biológicos

As características biológicas de *P. xylostella* variam de acordo com o tipo de alimentação e temperatura; em circunstâncias mais frias o ciclo pode ter 20 a 30 dias, já, em condições mais quentes, o ciclo pode se dar em apenas 12 dias (DE BORTOLI et al., 2013). O número de gerações varia bastante, sendo de cinco a vinte por ano, dependendo também das condições climáticas e da alimentação, tornando as densidades das populações no campo diferentes de um ano a outro (CASTELO BRANCO et al., 1997; DIAS et al., 2004).

Os adultos de *P. xylostella* são microlepidópteros de coloração parda, com até 10 mm de comprimento e antenas filiforme, e dispostas de maneira pronunciada na cabeça. Possuem hábito crepuscular a noturno, quando os machos procuram as fêmeas para a cópula; durante o dia permanecem camuflados nas folhagens. Quando estão em repouso, as margens posteriores das asas formam um desenho semelhante a um diamante, dando seu nome popular “diamondback moth” (KOSHIHARA; YAMADA, 1980; TALEKAR; SHELTON, 1993; VACARI, 2009). O dimorfismo sexual entre machos e fêmeas

é observado na parte ventral do inseto adulto, no final do abdome, onde os machos apresentam uma “fenda”, enquanto as fêmeas mostram duas manchas circulares escuras (Figura 1) (VACARI, 2009).

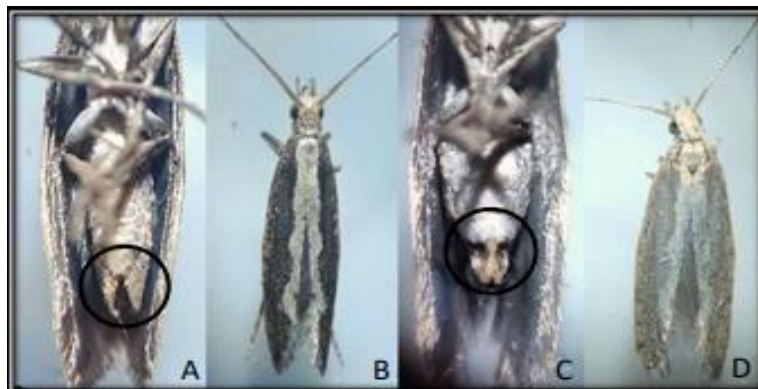


Figura 1. Macho (A e B) e fêmea (C e D) de *Plutella xylostella* e o dimorfismo sexual no aparelho reprodutor (Vieira, 2016).

As mariposas emergem pela manhã, nas primeiras 8 horas de luz, acasalando ao entardecer do mesmo dia e iniciando a postura logo após o acasalamento, sendo o pico de oviposição entre 19 e 20 horas após a cópula (PIVNICK et al., 1990). As fêmeas são muito prolíferas, podendo depositar até 350 ovos ao longo de sua longevidade, com menor viabilidade dos ovos após o terceiro dia de oviposição. Os adultos machos vivem cerca de 12 dias, enquanto as fêmeas aproximadamente 16 dias (THULER, 2009).

Os ovos são depositados na face abaxial das folhas, habitualmente seguindo as nervuras, de forma isolada ou agrupada; possuem cor amarelada ou verde pálida; medem menos de 1 mm no maior diâmetro e são elípticos, com ondulações, sendo o período de incubação de 2 a 5 dias, dependendo, principalmente, da temperatura (MEDEIROS et al., 2003; THULER, 2009; CASTELO BRANCO; FRANÇA, 2015).

Logo que as lagartas eclodem, penetram nas folhas, formando pequenas galerias alimentando-se do mesófilo foliar durante 2 a 3 dias. No segundo ínstar abandonam as galerias e até o terceiro ínstar começam a se alimentar da epiderme inferior das folhas, enquanto no quarto ínstar consomem toda a superfície da folha, completando seu desenvolvimento larval e iniciando a confecção do casulo (CASTELO BRANCO et al., 1997; MEDEIROS et al., 2003; CASTELO BRANCO; FRANÇA, 2015). A fase larval de *P. xylostella*

possui então quatro estádios. O tempo de desenvolvimento de cada um é de: 3-7 dias para o primeiro ínstar; 2-7 dias para o segundo ínstar; 2-8 dias para o terceiro ínstar e 2-10 dias para o quarto ínstar (CAPINERA, 2015).

A coloração da lagarta é primeiramente esbranquiçada, com o passar do tempo passa a verde-clara ou verde-escura (dependendo da alimentação), com a cabeça parda; na superfície do corpo há a presença de “pelos” escuros e esparsos destacados pela presença de pequenas manchas brancas (CASTELO BRANCO et al., 1997; MONNERAT, 1995). Alcançam 8 a 10 mm de comprimento após 9 a 10 dias de desenvolvimento e se movimentam com rapidez; quando são perturbadas, reagem através de saltos (VACARI, 2009; CASTELO BRANCO; FRANÇA, 2015).

As pupas são encontradas em toda a planta, principalmente na face inferior das folhas, ou nas inflorescências da couve-flor e dos brócolis, geralmente em locais mais abrigados de inimigos naturais e fatores abióticos. Apresentam de 5 a 9 mm e são circundadas por um casulo branco de seda que auxilia na fixação à planta. A pupa é do tipo obtecta, com coloração verde a branco amarelado nos primeiros dias, sendo, 4 dias depois, marrom, período que está próxima à emergência dos adultos (CASTELO BRANCO; FRANÇA, 2001; THULER, 2009; CASTELO BRANCO; FRANÇA, 2015).

2.2.3. Danos e prejuízos

Conhecida popularmente como traça-das-crucíferas, *P. xylostella* representa um dos principais problemas para o cultivo de brássicas, devido sua voracidade, elevado potencial reprodutivo, ciclo de vida curto e abrangência territorial mundial (TALEKAR; SHELTON, 1993; SHELTON, 2004).

O dano da traça-das-crucíferas nas plantas é causado pela alimentação da lagarta, causando a desvalorização do produto final, desfolha, retardamento no desenvolvimento da planta e até mesmo sua morte. Quando presentes em baixas densidades populacionais, as lagartas se hospedam em folhas novas e, em altas densidades, se dispersam por toda a planta, acarretando maior dano e resultando na destruição total do tecido foliar, exceto as nervuras, interrompendo até a formação da “cabeça” no repolho e das

inflorescências nos brócolis e na couve-flor (CASTELO BRANCO et al., 1997; CAPINERA, 2015).

No Estado de São Paulo, a traça-das-crucíferas causa redução na produção de repolho, devido ao ataque desde a formação da cabeça, fazendo furos nas folhas, até a colheita, com nível de dano próximo a 20% de plantas infestadas e grande redução do valor comercial do produto (FREITAS LUZ et al., 2002; IMENES et al., 2002; VACARI et al., 2008). Na cultura da couve as perdas podem chegar a 95%, variando de acordo com a região e época de cultivo (CZEPAK et al., 2005). Nas culturas de brócolis e de couve-flor podem se alimentar também das inflorescências (TIBA, 2008).

No decorrer dos períodos mais secos do ano que ocorrem os ataques mais severos (MEDEIROS et al., 2003). De acordo com a idade fenológica das plantas, os danos causados por *P. xylostella* podem ser maiores, sendo necessária a utilização de medidas de controle logo nos primeiros estágios de desenvolvimento da planta (SILVA et al., 2003).

2.2.4. Controle

O maior problema para o controle da traça-das-crucíferas é a forma de cultivo, devido à presença constante no campo de plantas em idades fenológicas variadas, assegurando à praga alimento durante o ano todo. Mesmo quando os cultivares comerciais não ocorrem no campo, várias espécies de ervas daninhas da família das brassicáceas podem se comportar como hospedeiros alternativos para esta praga (IMENES et al., 2002; CAPINERA, 2015).

Várias pesquisas apontam métodos alternativos ao controle químico para controle de *P. xylostella*, como o uso de feromônio sexual (MICHEREFF et al., 2000), culturas armadilhas (CHARLESTON; KFIR, 2000), variedades resistentes (BOIÇA JÚNIOR et al., 2011), plantas inseticidas (TORRES; BARROS; OLIVEIRA, 2001), uso de extratos naturais de plantas (NEVES; NOGUEIRA, 1996) e o controle biológico, com a utilização de organismos predadores, parasitoides e microrganismos entomopatogênicos (DIAS; SOARES; MONNERAT, 2004).

O controle biológico de *P. xylostella* está apoiado em várias espécies de parasitoides e predadores associados a esta praga. Dentre os parasitoides, pode-se citar *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae) e *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Já entre os predadores, destacam-se as espécies *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae), *Lasiochilus* sp. (Hemiptera: Anthocoridae) e *Discodon* sp. (Coleoptera: Cantharidae) que estão presentes em cultivos de brássicas (BACCI et al., 2009; VACARI, 2009; SILVA-TORRES et al., 2010; FIGUEROA, 2015).

Mesmo com todas essas alternativas de manejo, na prática, o controle de *P. xylostella* é realizado basicamente com o uso intensivo de inseticidas químicos, com a principal justificativa de apresentarem resultados de forma rápida e prática, porém prejudicando as populações desses inimigos naturais (TALEKAR; SHELTON, 1993; BACCI et al., 2009; ZALUCKI et al., 2012). Em 1993, Talekar e Shelton publicaram que o custo anual do controle de *P. xylostella* era calculado em cerca de US \$ 1 bilhão, porém, com o aumento de 39% nas áreas de produção de brássicas desde aquela época, os custos para o seu manejo aumentaram para US\$ 4 a 5 bilhões de dólares anuais. Para reduzir esses custos de controle, o ideal é o emprego do Manejo Integrado de Pragas (MIP), assim também se preservaria os inimigos naturais na área, mantendo as pragas em nível de equilíbrio (ZALUCKI et al., 2012).

Embora os danos da praga corroborem a adoção de agrotóxicos, seu uso intensivo causa graves prejuízos, como a presença de resíduos nos alimentos, problemas toxicológicos, desequilíbrio ecológico, eliminação dos inimigos naturais e, principalmente, a resistência de insetos aos produtos químicos (MONNERAT et al., 2004; DE BORTOLI et al., 2013).

2.3. Indoxacarbe

Para o controle de *P. xylostella* são empregadas diferentes classes de inseticidas (AGROFIT, 2017). Os chamados inseticidas neurotóxicos são os mais abundantes no mercado (IRAC, 2016; AGROFIT, 2017). Dentre os inseticidas neurotóxicos, há vários produtos que possuem mecanismo de ação atuante nos canais de sódio, tais como DDT, que teve sua venda proibida

devido a alta toxicidade, piretroides e oxadiazinas. Principalmente em razão da sua função vital exercida nos insetos, os canais de sódio são responsáveis pela iniciação e disseminação dos potenciais de ação nas células excitáveis, possuindo um grande número de sítios de ligação, sendo acessíveis nas membranas neuronais e sensível ao envenenamento, causando interrupção instantânea na alimentação das pragas (TOSHIO, 1992; WING et al, 2010).

O indoxacarbe é o único representante da classe das oxadiazinas, descoberto e desenvolvido pela E.I. DuPont & Co e lançado no Brasil pela DuPont do Brasil S.A. na safra de 2000/2001, sendo o primeiro bloqueador de canais de sódio do tipo pirazolina comercializado (WING et al., 1998; MARÇON, 2004). Sua descoberta ocorreu através do aperfeiçoamento da pirazolina quanto a sua eficácia inseticida, segurança em relação aos organismos não visados e segurança para o meio ambiente, possuindo mecanismo de ação distinto do DDT e dos piretroides (MCCANN et al., 2001). A otimização das oxadiazinas ocasionou à identificação de indoxacarbe racêmico (DPX-JW062) como candidato para comercialização. Sua síntese forneceu um meio de produção do indoxacarbe enriquecido no isômero ativo que apresenta grande eficácia inseticida (MCCANN et al., 2001; SILVER et al., 2010).

O efeito do inseticida indoxacarbe ocorre após sua ativação metabólica por meio da ação de enzimas, esterases ou amidases, que clivam o grupo de ligação da ureia, libertando a ureia livre, atuando então como o bloqueador do canal de sódio (WING et al., 2000; SILVER et al., 2010). A atividade enzimática responsável por esse modo de ação é encontrada em níveis elevados nos intestinos médios e nos tecidos gordurosos dos insetos (WING et al., 2000). Esse modo de ação relaciona-se com o surgimento de sintomas de neurointoxicação, variando de pequenas convulsões até a paralisia seguida de morte (WING et al., 1998; WING et al., 2000; SILVER et al., 2010). Indoxacarbe restringe o dano causado por *P. xylostella* por reduzir o nível de desfolha, provocando rápida redução na alimentação (WING et al., 2000; MARTINELLI et al., 2003; WING et al., 2010).

Além de sua eficácia no controle de *P. xylostella*, seu mecanismo de ação é diferenciado e apresenta seletividade aos inimigos naturais, organismos-não-alvo e possui segurança para os mamíferos (CRUZ; SILVA;

FIGUEIREDO, 2000; WING et al., 2000), fazendo do indoxacarbe um inseticida indicado para programas de MIP.

O indoxacarbe apresenta ainda ação lenta e atividade residual relativamente longa (MARTINELLI et al., 2003), sendo que essas características podem afetar o comportamento e a fisiologia dos insetos-alvo, tornando necessária a análise de, além da mortalidade, também de seus efeitos subletais, que causam uma série de alterações consideráveis na biologia de lagartas tratadas com este produto (HAYNES, 1988; KERNS; STEWART, 2000; WANG et al., 2011).

Porém, sabe-se que *P. xylostella* possui grande potencial de desenvolver resistência para inseticidas devido às pulverizações intensas para o seu controle (TALEKAR; SHELTON, 1993). Até o momento há na literatura 57 relatos de resistência de *P. xylostella* para indoxacarbe em 7 países: China, Índia, Paquistão, Malásia, Austrália, Estados Unidos e, Brasil, no estado de Pernambuco, como consequência de anos de aplicações sucessivas (SANTOS et al., 2011; APRD, 2017).

2.3.1. Resistência a inseticidas

Resistência de populações de pragas aos agrotóxicos é uma das principais dificuldades para a agricultura (FRAGOSO, 2014). As aplicações inseticidas frequentes para *P. xylostella*, em geral 15 a 20 por ciclo da cultura, e no Brasil de 1 a 4 por semana, combinado a fatores biológicos, como elevado número de gerações anuais e alta fecundidade, favoreceram a seleção de indivíduos resistentes (TALEKAR; SHELTON, 1993; CASTELO BRANCO et al., 2001; THULER, 2006).

A traça-das-crucíferas foi o primeiro inseto a apresentar resistência ao DDT, somente 3 anos após sua liberação (ANKERSMIT, 1953) e também foi o primeiro inseto a desenvolver resistência a *Bacillus thuringiensis* Berliner, com registro em 1980 (TABASHNIK et al., 1990; TABASHNIK, 1994). Historicamente foram relatados casos de resistência a uma ampla gama de inseticidas, como spinosad, avermectinas, indoxacarbe, metaflumizone, diamidas antranílicas e toxinas Cry de *B. thuringiensis* (TABASHNIK et al., 1990; ZHAO et al., 2006; SAYYED; WRIGHT, 2006; WANG; WU, 2012; WANG

et al., 2016). Até o momento, *P. xylostella* desenvolveu níveis de resistência a mais de 90 ingredientes ativos, sendo considerada uma das espécies-praga de mais difícil controle (SHELTON, et al., 2000; APRD, 2017).

A resistência dos insetos evolui em razão da pressão de seleção constante que é imposta pelo uso excessivo dos inseticidas, limitando sua eficácia em longo prazo, além do aumento da frequência dos indivíduos “pré adaptados”, ou seja, aqueles que expressam genes que conferem resistência, presentes em uma população (RIBEIRO, 2014). Na prática, a resistência ocorre em uma população de campo no momento em que há organismos resistentes em quantidade suficiente para provocar danos econômicos na cultura (FITT et al., 2006).

Há diversos mecanismos fisiológicos pelos quais os insetos podem expressar resistência aos inseticidas (OMOTO; RISCO; SCHMIDT, 2017). No caso dos produtos químicos, as principais formas são: impedimento da penetração cuticular do produto (NOPPUN; SAITO; MIATA, 1989), redução da sensibilidade nervosa do sítio de ação do produto (HAMA; KONO; SATO, 1987) e degradação do metabolismo através da ação de enzimas (KAO; HUNG; SUN, 1989). Outros mecanismos menos frequentes são o sequestro das moléculas inseticidas em alguns tecidos do organismo, aumento na excreção ou alterações comportamentais do inseto (OMOTO; RISCO; SCHMIDT, 2017).

Essas alterações fisiológicas para seleção da resistência a inseticidas geralmente são ocasionadas por impactos pleiotrópicos (fenótipos variados integrados a um só gene) e causam aos insetos resistentes uma desvantagem em relação aos suscetíveis, reduzindo sua frequência quando não há a pressão de seleção inserida no ambiente, pois este custo adaptativo dos indivíduos resistentes é relacionado a fatores como a capacidade de sobrevivência ou de reprodução (COUSTAU et al., 2000; ARNOUD; HAUBRUGE, 2002).

Além das falhas no controle dos insetos, a seleção de populações resistentes implica em uma série de impactos econômicos, sociais e ambientais, decorrentes do maior número de pulverizações de inseticidas, aumento de dosagens e uso de produtos mais tóxicos. Dentre estes impactos, pode-se citar: o acréscimo nos custos de produção; aumento do número de intoxicações em trabalhadores rurais e em consumidores; maior poluição; e

mortalidade de organismos não-alvo (CASTELO BRANCO; FRANÇA, 2015). Essas consequências prejudicam o Manejo Integrado de Pragas, sendo imprescindível a implementação do manejo de resistência de artrópodes a produtos químicos nesses programas (OMOTO; RISCO; SCHMIDT, 2017).

2.3.2. Manejo de resistência a insetos

A evolução da resistência aos inseticidas pode variar de acordo com aspectos genéticos, biológicos e ecológicos da população da praga em questão (GEORGHIOU; TAYLOR, 1977a). O conhecimento de aspectos da biologia da praga-alvo, como sua alimentação nos diferentes estágios de vida; capacidade de dispersão; fecundidade dos adultos; e número de gerações por ano é essencial para a composição do plano de manejo da resistência de insetos aos produtos químicos (GEORGHIOU; TAYLOR, 1977b).

Para se tentar frear a resistência, seu manejo deve ser realizado como integrante do MIP. As táticas para o manejo da resistência a inseticidas podem ser compostas por: manejo por moderação (onde a pressão de seleção é diminuída por meio da redução na frequência de aplicação e a manutenção de refúgios); manejo por saturação (onde reduz-se a adaptação dos organismos resistentes com o uso substâncias sinérgicas ou com a utilização de altas doses dos produtos); e manejo por ataque múltiplo (com a rotação de produtos com diferentes mecanismos de ação) (MARTINELLI; OMOTO, 2006).

Na prática, no que se refere à utilização de técnicas de manejo de resistência a inseticidas, a diminuição no número de aplicações é fundamental, como, por exemplo, no caso da traça-das-crucíferas no repolho, aplicar somente no início de formação de cabeças e a partir do nível de dano econômico, quando é encontrada uma média de seis furos nas quatro folhas centrais da planta (CASTELO BRANCO; FRANÇA, 2015). A medida de manejo da resistência mais recomendada também é o manejo por ataque múltiplo, que compreende a rotação de produtos com diferentes mecanismos de ação. Quando há sobreposição de gerações da praga no campo, o que geralmente acontece em condições tropicais, devem ser utilizados no mínimo três inseticidas de grupos químicos distintos, para impedir que parte da população de *P. xylostella* seja selecionada para resistência por dois desses produtos

(CASTELO BRANCO; FRANÇA, 2015). Esse recurso, da rotação de produtos, é justificado pela frequência de indivíduos resistentes a um produto diminuir quando outros também são utilizados (GEORGHIOU, 1983; OMOTO; RISCO; SCHMIDT, 2017).

Outro elemento fundamental para o manejo da resistência é o monitoramento. Por meio do monitoramento da suscetibilidade de populações de insetos é possível averiguar se as técnicas de manejo da resistência estão garantindo o retardamento de sua evolução e, assim, garantir maior eficiência no controle de pragas (MARTINELLI; OMOTO, 2006).

2.4. Efeitos subletais em insetos como ferramenta para o MIP

A maioria dos inseticidas apresentam efeitos letais (agudos) e subletais (crônicos) (HAYNES, 1988). Estudos sobre os efeitos subletais dos inseticidas nas pragas são realizados para averiguar as alterações nos aspectos biológicos que podem afetar suas dinâmicas populacionais (STARK; BANKS, 2003).

Doses subletais podem influenciar em diversos parâmetros, tais como: tempo de desenvolvimento (WANG et al., 2008), longevidade (HASEEB; AMANO, 2002; WANG et al., 2009), tamanho do ovo (YIN et al., 2008), parâmetros de tabela de vida (ZANUNCIO et al., 2005; REZAEI et al., 2007) e a razão sexual (DELPUECH; MEYET, 2003). Estes fenômenos também foram observados para populações de *P. xylostella* (NEMOTO, 1993).

Organismos que sobrevivem a determinada dose de um inseticida podem ou não causar problemas para as culturas, pois sua biologia pode ter sido afetada mesmo em doses subletais dos produtos (STARK; BANKS, 2003). Alguns inseticidas em doses subletais podem até estimular a alimentação dos insetos, agravando os prejuízos na lavoura (HAYNES, 1988). Dessa maneira, as substâncias tóxicas podem exercer efeitos menos intensos, bem como aqueles mais evidentes que devem ser respeitados na análise da toxicidade de um produto químico (STARK; BANKS, 2003).

O uso de parâmetros de tabelas de vida tem sido recomendado como forma de avaliar o efeito total de um inseticida em populações de insetos e outras interações que não são perceptíveis em testes de toxicidade de curto

prazo (STARK; BANKS, 2003). A confecção das tabelas de vida é realizada correlacionando parâmetros de fecundidade, fertilidade, viabilidade, entre outros. Assim, sintetizam-se todas as variáveis analisadas para melhor interpretação e construção de modelos de crescimento populacional, proporcionando uma medida dos efeitos tóxicos de substâncias inseticidas na taxa de crescimento da população (SILVEIRA NETO et al., 1976; SOUTHWOOD; HENDERSON, 2009).

As informações obtidas sobre os efeitos subletais fornecem conhecimento do possível potencial dos inseticidas quando não há morte dos insetos, representando uma das etapas de um programa de manejo da resistência (SCHMIDT, 2002). Os efeitos subletais devem ser considerados também na escolha dos inseticidas, o que pode ajudar na avaliação de sua eficiência em campo (HAN et al., 2011).

Bioensaios sobre efeitos subletais, além dos estudos tradicionais de mortalidade, ajudam na avaliação do potencial impacto dos inseticidas, uma vez que o MIP não objetiva a eliminação das pragas, e sim a manutenção de suas populações em níveis que não causam danos econômicos para a cultura, interferindo o mínimo possível no equilíbrio ecológico e na diversidade ambiental (HAYNES, 1988; STORCH et al., 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Biologia e Criação de Insetos (LBCI) do Departamento de Fitossanidade da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Jaboticabal. Os insetos e os experimentos foram mantidos em sala climatizada com temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, fotoperíodo de 12h de luz/12h de escuro e umidade relativa de $70 \pm 10\%$.

3.1. Obtenção e criação de *Plutella xylostella*

Duas populações de *P. xylostella*, uma de laboratório e outra proveniente do campo, foram utilizadas no presente estudo. Uma população de *P. xylostella* que é mantida em laboratório (PL) na ausência de pressão seletiva com agrotóxicos foi tomada como a população suscetível de referência, sendo

ela coletada em 5 de julho de 2010. A coleta foi realizada em plantas de repolho, na cidade de Jaboticabal, SP (Brasil), estando com 110 gerações em laboratório no período da realização dos experimentos. A população de *P. xylostella* de campo (PC) foi obtida a partir de uma população coletada na cultura de brócolis em 6 de janeiro de 2015 na cidade de Vista Alegre do Alto, SP, onde o produtor realizava aplicações periódicas de diferentes produtos, principalmente químicos sintéticos, inclusive o indoxacarbe.

A criação foi conduzida segundo a metodologia descrita por Thuler (2009), adaptada por De Bortoli et al. (2017) (Figura 2). O substrato utilizado para alimentação e oviposição de *P. xylostella* foi couve (*Brassica oleracea* var. *acephala* cv. Manteiga), cultivada na área experimental da FCAV-UNESP, Campus de Jaboticabal.

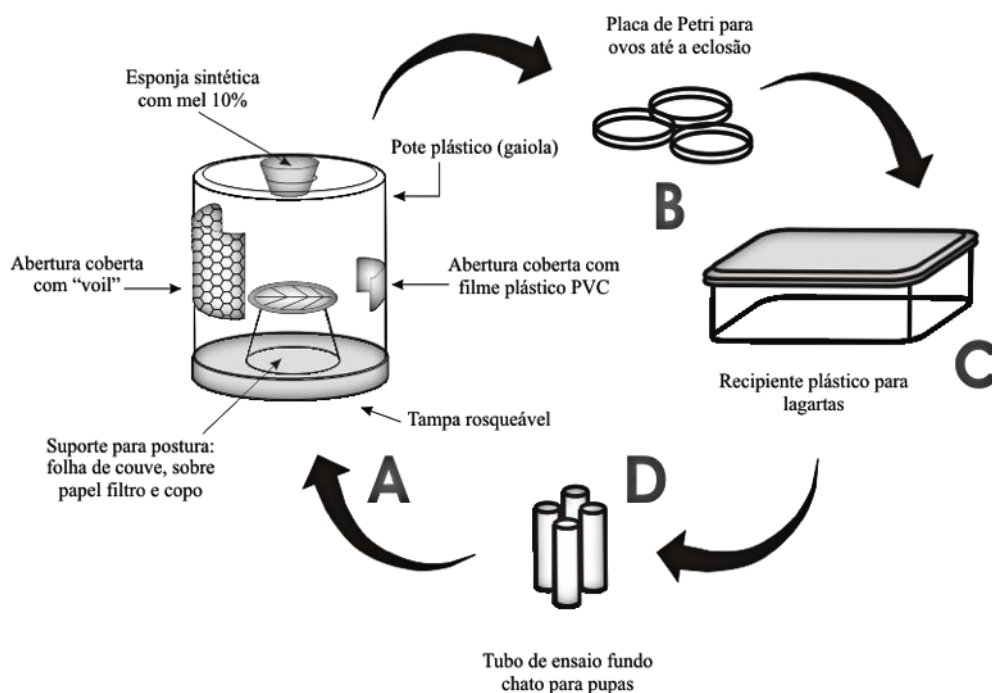


Figura 2. Esquema de criação de *Plutella xylostella* descrito por Thuler (2009).

Cerca de 100 adultos recém-emergidos foram transferidos para gaiolas plásticas circulares transparentes, medindo 13 cm de diâmetro e 15 cm de altura, com uma abertura lateral coberta por tecido tipo "voile" de 10 cm × 5 cm para aeração e outra de 10 cm × 2 cm para troca dos discos foliares e vedada com filme plástico de PVC, para facilitar o manuseio. Os adultos foram

alimentados com solução de mel a 10%, embebida em esponja presa na parte superior da gaiola.

No interior das gaiolas, foram inseridos discos de folha de couve de 8 cm de diâmetro (cortados com o auxílio de um sino adaptado), como substrato para oviposição, sobre discos de papel filtro de 9 cm de diâmetro, umedecidos; como suporte para os discos foi utilizado um copo plástico transparente de 50 mL, colocado invertido na parte central do fundo da gaiola. Estes discos de couve, juntamente com os discos de papel, foram trocados diariamente e por três dias, foram acondicionados em placas de Petri (9 cm de diâmetro) até a eclosão das lagartas. Após a eclosão, os discos com as lagartas foram transferidos para recipientes plásticos (27 cm × 17 cm × 8 cm) e folhas de couve foram oferecidas para alimentação. A troca das folhas e higienização dos recipientes foi realizada diariamente até a fase de pupa.

As pupas foram coletadas com o auxílio de um pincel de cerdas finas e acondicionadas em tubos de vidro de fundo chato (8,5 cm × 2,4 cm) vedados com filme plástico com pequenos furos para aeração, colocando-se de 20 a 30 pupas por tubo.

3.2. Obtenção do agrotóxico

O produto utilizado foi o RUMO[®] WG da Dupont, registrado para *P. xylostella* nas culturas de couve, repolho, brócolis, couve flor, couve chinesa e couve de Bruxelas, sendo ele um inseticida que atua por ingestão, do grupo químico oxadiazinas, e tendo como ingrediente ativo indoxacarbe na concentração de 300 g/kg.

3.3. Bioensaios com *Plutella xylostella*

3.3.1. Efeito residual

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, onde as mudas de couve (*Brassica oleracea* var. *acephala* cv. Manteiga) foram plantadas em vasos de 10 L contendo uma mistura de terra, esterco bovino e areia na

proporção de 3:1:1. Estas plantas foram mantidas em casa de vegetação, com tela antiafídica, livres de pragas e agrotóxicos, sendo irrigadas todos os dias. Quando as plantas atingiram de 20 cm -30 cm, cerca de 30 dias depois do plantio, estavam prontas para serem utilizadas nos experimentos. O indoxacarbe, na dosagem de campo recomendada pelo fabricante (100 mg.L^{-1}) mais o espalhante adesivo Triton-X100® ($50 \text{ } \mu\text{g.mL}^{-1}$), foram pulverizados sobre a área total das plantas, até o escorrimento, com um pulverizador manual (200 mL) em seis períodos diferentes, a fim de se obter as idades residuais de 0, 1, 3, 7, 14 e 21 dias após o tratamento. Os bioensaios foram iniciados 2 horas após o tratamento, com a secagem total das folhas, em 0. Para isso, um total de 300 lagartas de segundo ínstar foram colocadas nas plantas, sendo 100 lagartas por vaso. Para que as lagartas não fugissem, no momento que eram colocadas nas plantas, os vasos foram revestidos por uma gaiola feita por tecido tipo “voile” com uma abertura contendo zíper para facilitar o manuseio, sendo ela suportada por uma armação de ferro (66 cm de altura $\times$ 42 cm de diâmetro) que circundava toda a planta (Figura 3). Este procedimento foi repetido 1, 3, 7, 14, e 21 dias após o tratamento. O tratamento controle (água deionizada autoclavada mais $50 \text{ } \mu\text{g.mL}^{-1}$ de Triton-X100®) foi realizado apenas para o momento 0. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com 7 tratamentos $\times$ 3 repetições $\times$ 2 populações. A eficácia do inseticida foi avaliada 7 dias após as lagartas terem sido dispostas nas plantas. As lagartas foram contabilizadas como mortas caso não se movessem quando tocadas com um pincel fino, sendo aquelas que atingiram a fase de pupa computadas como vivas.



Figura 3. (A) Gaiola com o “voile”; (B) Gaiola antes da inoculação das lagartas de segundo ínstar de *Plutella xylostella*; (C) Gaiola 1 semana depois da inoculação; (D) Detalhe das pupas sobreviventes.

3.3.2. Testes para a estimativa da Concentração Letal (CL₅₀)

Para os testes da amplitude das concentrações testadas, foram conduzidos ensaios preliminares até a obtenção das concentrações-teste.

Para a condução dos bioensaios, discos foliares de couve (*Brassica oleracea* var. *acephala* cv. Manteiga) de 9 cm de diâmetro foram mergulhados em 50 mL das concentrações do inseticida indoxacarbe (1; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 e 15 mg.L⁻¹), diluído em água deionizada autoclavada com 50 µg.mL⁻¹ de Triton-X100®, por 30 segundos. No tratamento controle foi utilizada apenas a solução de água deionizada autoclavada e 50 µg.mL⁻¹ de Triton-X100®. Após a secagem, em condição ambiente por 30 minutos, os discos foram colocados individualmente em placas de Petri (9,5 cm de diâmetro × 2,0 cm de altura) sobre papel filtro umedecido com água deionizada. Foram colocadas sobre

cada disco foliar 10 lagartas de segundo ínstar de *P. xylostella*, sendo cada disco considerado uma repetição, trabalhando-se com 10 repetições por tratamento, totalizando 100 insetos por concentração, para as duas populações de *P. xylostella*. As placas foram envolvidas com filme plástico de PVC e mantidas em sala climatizada ajustada a temperatura de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12h luz: 12h escuro. A mortalidade das lagartas foi avaliada 48 horas após a instalação do bioensaio. A lagarta morta foi caracterizada como aquela com total imobilidade quando tocada com um pincel de cerdas finas.

Foi determinada a concentração letal média que causa mortalidade de 50% dos indivíduos das populações (CL_{50}). Os valores de CL_5 , CL_{15} e CL_{25} foram então determinados a partir a curva dose-resposta e utilizados como concentrações subletais para os experimentos posteriores nas duas populações-teste.

3.3.3. Efeitos subletais

Para a condução dos estudos sobre os efeitos subletais foram utilizadas as concentrações CL_5 (0,37 para PL e 1,01 para PC), CL_{15} (0,87 para PL e 2,06 para PC) e CL_{25} (1,44 para PL e 3,16 para PC) para as duas populações. Como tratamento controle foi utilizado água deionizada autoclavada e $50 \mu\text{g.mL}^{-1}$ Triton-X100®. Os bioensaios foram conduzidos de acordo com a descrição do item 3.3.1.

As lagartas foram observadas diariamente e os discos foliares trocados por novos de acordo com o consumo das lagartas e qualidade das folhas. Nesse período foi avaliada a duração desde o segundo ínstar até pupa, sobrevivência desde o segundo ínstar a pupa e consumo foliar. A medição da área foliar consumida foi realizada com o auxílio de um medidor de área foliar “CI 203® – CID Incorporation”, sendo o disco foliar substituído a cada medição por um disco novo não tratado. Após a formação das pupas, elas foram individualizadas e mantidas em placas tipo Elisa®, sendo acondicionada uma pupa em cada poço, onde permaneceram até a emergência dos adultos. Nesse período foram registrados: peso de pupas, duração pupal, sobrevivência de pupas e razão sexual. Os adultos emergidos foram separados por sexo e

acondicionados em recipiente plástico transparente de 1.800 mL (15 cm de diâmetro × 14,5 cm de altura) para cópula e oviposição, sendo um casal por recipiente. Foi oferecido diariamente um disco de couve de 9 cm de diâmetro, disposto sobre um copo plástico transparente com a abertura voltada para baixo, para realização das posturas, além de solução de mel a 10% para alimentação dos adultos. As posturas coletadas nos discos foliares foram contabilizadas até o término do período de oviposição. Nessa fase foi registrado o número de ovos por fêmea e longevidade de machos e de fêmeas. Cada recipiente foi considerado uma repetição, sendo observadas 10 repetições por tratamento. Para analisar a viabilidade dos ovos, 100 ovos por tratamento foram amostrados aleatoriamente durante os três primeiros dias de oviposição e colados em papel quadriculado (8 cm × 8 cm) com o auxílio de um pincel de cerdas finas (um por quadrado) e colocados sobre papel filtro umedecido com água deionizada dispostos no interior de placas de Petri (9,5 cm de diâmetro × 2,0 cm de altura) para incubação. As avaliações dos efeitos subletais foram realizadas até a morte dos adultos (Figura 4).

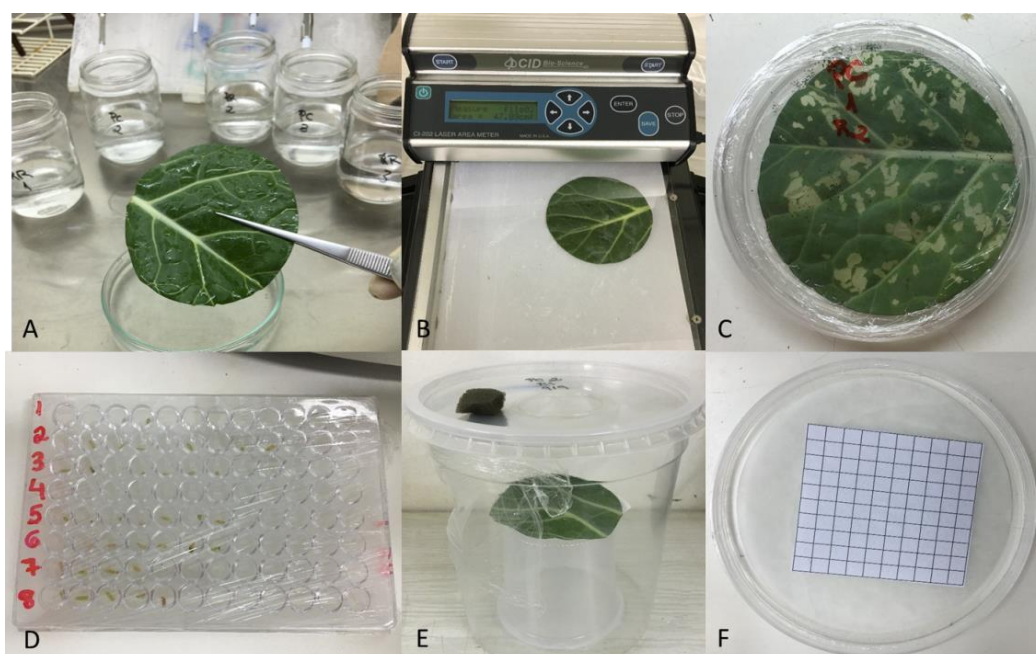


Figura 4. (A) Tratamento dos discos de folhas de couve; (B) Medição da área foliar; (C) Placa com disco de couve tratado e lagartas de *Plutella xylostella*; (D) Placa tipo Elisa® com pupas de *P. xylostella*; (E) Gaiola para avaliação da longevidade e oviposição; (F) Avaliação da viabilidade de ovos.

Para a construção de tabelas de vida de fertilidade, foram avaliadas as durações dos períodos de ovo, de larva, de pupa e da fase adulta, bem como a sobrevivência em cada fase de desenvolvimento, além da razão sexual de *P. xylostella* em cada um dos tratamentos e em cada população. Os parâmetros de crescimento calculados foram: R_0 = taxa líquida de reprodução (ou seja, a taxa de aumento populacional a cada geração) ($\sum (m_x.l_x)$); T = duração média de uma geração ($(\sum m_x.l_x.x) / (\sum m_x.l_x)$); r_m = taxa intrínseca de crescimento ($\ln.R_0/T$), e λ = taxa finita de crescimento (e^{r_m}), definida pelo número de vezes que a população se multiplica por unidade de tempo. Em adição a esses parâmetros, D_t , o tempo necessário para a população dobrar em número de indivíduos ($\ln(2)/r_m$), também foi determinado, segundo o método de Krebs (1994). Os parâmetros foram calculados de acordo com metodologia citada por Silveira Neto et al. (1976), sendo: x = ponto médio de cada idade das fêmeas parentais ou valores de intervalos de idade, idade esta considerada desde a fase de ovo; l_x = a expectativa de vida para idade x ; m_x = fertilidade específica ou número de descendentes por fêmea produzidos na idade x .

3.4. Análise estatística

No experimento de efeito residual foi utilizado o delineamento em blocos casualizados (DBC). Todos os outros experimentos foram conduzidos com delineamento inteiramente casualizado (DIC).

Os dados obtidos com relação ao efeito residual do inseticida em lagartas de *P. xylostella* foram submetidos aos testes de normalidade (teste de Kolmogorov) e de homogeneidade da variância (teste de Bartlett), requisitos exigidos pela análise de variância (ANOVA). Os dados atenderam aos requisitos da ANOVA, exceto o tratamento após 3 dias da aplicação, no qual os dados foram transformados em raiz de $x + 0,5$. Em seguida, eles foram submetidos à ANOVA, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para comparação entre os tempos de aplicação. A comparação entre as populações de *P. xylostella* foi efetuada utilizando o teste t de Student. Todas as análises foram conduzidas empregando o software SAS (SAS INSTITUTE, 2015).

Os dados de concentração-mortalidade foram submetidos à análise de regressão de Probit (FINNEY, 1971) e obtidos os valores de concentração letal média (CL₅₀) utilizando o software SAS (SAS INSTITUTE, 2015). Diferenças entre os valores de CL₅₀ foram consideradas significativas quando 95% do limite de confiança de um tratamento não se sobrepôs ao limite de confiança de outro tratamento.

Os dados dos efeitos subletais foram submetidos aos testes de normalidade (teste de Kolmogorov) e de homogeneidade da variância (teste de Bartlett), atendendo aos requisitos da análise de variância (ANOVA). Em seguida, eles foram submetidos à ANOVA, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises foram conduzidas empregando o software SAS (SAS INSTITUTE, 2015).

Além disso, foram elaboradas curvas utilizando-se os dados de sobrevivência na idade específica que foram comparadas de acordo com Kaplan e Meyer (1958) utilizando-se o software SAS (SAS INSTITUTE, 2015). Os parâmetros populacionais de tabela de vida de fertilidade foram estimados de acordo com o procedimento descrito por Maia, Luiz e Campanhola (2000), usando o software SAS (SAS INSTITUTE, 2015) que utiliza o método Jackknife para estimar os parâmetros, intervalos de confiança e permitir a comparação entre os tratamentos.

4. RESULTADOS

4.1. Efeito residual

A dose comercial de indoxacarbe (100 mg.L⁻¹), pulverizada em plantas de couve, matou as lagartas das duas populações logo após a aplicação. A mortalidade das lagartas da população suscetível de *P. xylostella* diminuiu de 100 para 76,7% em 3 dias após a aplicação e foi significativamente menor do que a população de campo, em que a mortalidade caiu de 100 para 90% após 3 dias (Tabela 1).

Tabela 1. Mortalidade (%) de lagartas de segundo ínstar de populações suscetível e de campo de *Plutella xylostella* em plantas de couve com resíduo de indoxacarbe.

Tempo (dias) ²	Populações	
	Suscetível	Campo
Controle	10,3 ± 2,03 d ¹	15,7 ± 3,18 d
0	100,0 ± 0,00 a	100,0 ± 0,00 a
1	100,0 ± 0,00 a	100,0 ± 0,00 a
3	76,7 ± 1,20 b	90,0 ± 0,58 b*
7	76,0 ± 5,03 b	62,7 ± 2,60 c
14	44,0 ± 6,35 c	55,3 ± 0,33 c
21	46,7 ± 3,76 c	60,3 ± 2,60 c

¹Médias ± erro padrão seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P > 0,05); * Indica diferença entre as populações pelo teste t de Student (P < 0,05). ²Dias após a aplicação.

4.2. Estimativa da CL₅₀ e concentrações subletais

Os valores de CL₅₀ de indoxacarbe foram 3,7 e 6,9 mg L⁻¹ para as populações de *P. xylostella* suscetível e de campo, respectivamente (Tabela 2). A razão da resistência foi 1,88 para a população do campo, sendo 1 para a de laboratório.

Tabela 2. Toxicidade de indoxacarbe para lagartas de segundo ínstar de *Plutella xylostella*.

Pop	N ¹	Coef. angular (± EP)	CL ₅₀ (95% IC) (mg L ⁻¹)	χ ² (GL) ²	Razão da resistência ³	CL ₅ (mg L ⁻¹)	CL ₁₅ (mg L ⁻¹)	CL ₂₅ (mg L ⁻¹)
PL ⁴	800	1,65 ± 0,14	3,7 ± 1,17 (3,12-4,29)	0,91 (5)	1	0,37 (0,21-0,56)	0,87 (0,58-1,17)	1,44 (1,06-1,82)
PC ⁴	800	1,96 ± 0,16	6,9 ± 1,80* (6,07-7,87)	0,28 (5)	1,88	1,01* (0,65-1,39)	2,06* (1,51-2,61)	3,16* (2,48-3,80)

¹ Número de lagartas testadas, incluindo controle; ² Grau de liberdade; ³ CL₅₀ da população PC / CL₅₀ da população PL; ⁴ PL: População suscetível e PC: População de campo. *Indica diferença significativa entre os valores de CL para as duas populações pela não sobreposição do intervalo de confiança.

4.3. Efeitos subletais de indoxacarbe em *Plutella xylostella*

4.3.1. Consumo foliar

O consumo foliar das lagartas da população suscetível na CL₁₅ (1,96 cm²) foi maior que nas demais concentrações, incluindo o controle (1,03 cm²) ($F_{3,56} = 7,10$; $P = 0,0004$). Além disso, o consumo foliar de lagartas da população de campo foi menor do que da população suscetível em todas as concentrações, exceto no controle (1,30 cm²) que foi maior ($F_{1,28} = 6,24$; $P = 0,0187$) (Tabela 3).

Tabela 3. Consumo foliar de lagartas das populações suscetível e de campo de *Plutella xylostella* submetidas a sudosagens de indoxacarbe.

Concentrações	Consumo foliar (cm ²)	
	Suscetível	De campo
Controle	1,03 ± 0,038 b ¹	1,30 ± 0,106 a*
CL ₅	1,51 ± 0,136 b*	1,14 ± 0,112 a
CL ₁₅	1,96 ± 0,164 a*	1,24 ± 0,195 a
CL ₂₅	1,37 ± 0,191 b*	0,82 ± 0,110 a

¹Médias ± erro padrão seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). *Indica diferença entre as populações pelo teste t de Student ($P < 0,05$).

4.3.2. Sobrevivência larval, sobrevivência pupal, peso pupal e período pupal

A exposição de lagartas a concentrações subletais de indoxacarbe reduziu a sobrevivência larval ($F_{3,56} = 50,36$; $P = <0,0001$) e pupal ($F_{3,51} = 31,93$; $P = <0,0001$). A sobrevivência larval e pupal diminuíram à medida que a concentração de indoxacarbe aumentou e foram menores na população de campo em comparação com a população suscetível (Tabela 4).

A sobrevivência de pupas foi maior no controle da população suscetível (80,0%) ($F_{3,56} = 40,52$; $P = <0,0001$) e menor na população de campo exposta à CL₂₅ (21,0%) ($F_{3,51} = 31,93$; $P = <0,0001$) (Tabela 4).

Tabela 4. Sobrevivência larval e pupal de populações suscetível e de campo de *Plutella xylostella* submetidas a concentrações subletais de indoxacarbe.

Concentrações	Sobrevivência larval (%)		Sobrevivência pupal (%)	
	Suscetível	De campo	Suscetível	De campo
Controle	89,3 ± 1,81 a ^{*1}	84, 6 ± 1,33 a	80,0 ± 1,95 a*	66,6 ± 2,10 a
CL ₅	71,3 ± 3,36 b*	56,0 ± 2,13 b	45,3 ± 3,50 b*	34,6 ± 3,21 b
CL ₁₅	56,0 ± 3,75 c*	38,0 ± 4,80 c	40,0 ± 3,38 b*	24,0 ± 4,76 bc
CL ₂₅	52,6 ± 4,62 c*	20,6 ± 4,62 d	35,3 ± 3,63 b*	21,0 ± 4,58 c

¹Médias ± erro padrão seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P > 0,05).

*Indica diferença entre as populações pelo teste t de Student (P < 0,05).

O período pupal variou de 4,16 a 4,75 dias, não havendo diferença entre as populações de *P. xylostella* ($F_{7,107} = 1,85$; P = 0,0859). O peso de pupa variou de 5,23 a 5,91 mg ($F_{7,110} = 1,78$; P = 0,0981) e foi menor para a população de campo (5,32 mg), em comparação com a população suscetível (5,91 mg) no tratamento controle ($F_{1,28} = 11,35$; P = 0,0022) (Tabela 5).

Tabela 5. Período pupal e peso de pupas de populações suscetível e de campo de *Plutella xylostella* submetidas a concentrações subletais de indoxacarbe.

Concentrações	Período pupal (dias)		Peso de pupas (mg)	
	Suscetível	De campo	Suscetível	De campo
Controle	4,32 ± 0,065 ab	4,38 ± 0,071 ab	5,91±0,107 a*	5,32 ± 0,137 a
CL ₅	4,16 ± 0,154 b	4,45 ± 0,097 ab	5,41±0,082 a	5,26 ± 0,144 a
CL ₁₅	4,44 ± 0,118 ab	4,52 ± 0,137 ab	5,70 ± 0,271 a	5,23 ± 0,185 a
CL ₂₅	4,45 ± 0,082 ab	4,75 ± 0,181 a	5,42 ± 0,149 a	5,67 ± 0,305 a

¹Médias ± erro padrão seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P > 0,05).

*Indica diferença entre as populações pelo teste t de Student (P < 0,05).

4.3.3. Fecundidade de fêmeas

A fecundidade foi menor nos tratamentos com as populações de campo nas concentrações CL₁₅ (96,2 ovos/fêmea) e CL₂₅ (69,2 ovos/fêmea) ($F_{3,34} = 4,92$; P = 0,0060). Não houve diferença entre os tratamentos e as populações quanto a viabilidade de ovos ($F_{7,16} = 0,85$; P = 0,5634) (Tabela 6).

Tabela 6. Fecundidade de fêmeas e viabilidade de ovos de populações suscetível e de campo de *Plutella xylostella* submetidas a concentrações subletais de indoxacarbe.

Concentrações	Fecundidade (ovos/fêmea)		Viabilidade (%)	
	Suscetível	De campo	Suscetível	De campo
Controle	168,0 ± 13,90 a ¹	151,7 ± 13,06 a	87,7 ± 1,45 a	85,9 ± 5,91 a
CL ₅	140,4 ± 16,85 a	145,1 ± 15,91 a	79,0 ± 7,37 a	74,2 ± 7,65 a
CL ₁₅	135,9 ± 18,57 a	96,2 ± 21,43 ab	92,6 ± 6,82 a	80,4 ± 9,80 a
CL ₂₅	110,7 ± 17,56 ab	69,2 ± 20,75 b	87,4 ± 5,77 a	86,7 ± 1,50 a

¹Médias ± erro padrão seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P > 0,05).

4.3.4. Longevidade de adultos

Os resultados de longevidade de adultos machos das populações suscetível e de campo (PL: $F_{3,36} = 1,86$; $P = 0,1546$; PC: $F_{3,35} = 0,67$; $P = 0,5734$) e das fêmeas (PL: $F_{3,36} = 2,14$; $P = 0,1118$; PC: $F_{3,36} = 0,97$; $P = 0,4192$) de *P. xylostella* não apresentaram diferenças entre os tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7. Longevidade de adultos (dias) de populações suscetível e de campo de *Plutella xylostella* submetidas a sudosagens de indoxacarbe.

Concentrações	Longevidade de Machos (dias)		Longevidade de Fêmeas (dias)	
	Suscetível	De campo	Suscetível	De campo
Controle	10,7 ± 0,80 a ¹	11,4 ± 1,44 a	10,3 ± 1,01 a	10,6 ± 0,91 a
CL ₅	9,6 ± 0,76 a	9,7 ± 1,08 a	8,0 ± 0,99 a	7,6 ± 0,78 a
CL ₁₅	8,5 ± 1,36 a	9,0 ± 1,46 a	9,3 ± 1,03 a	10,0 ± 1,55 a
CL ₂₅	7,3 ± 1,23 a	8,7 ± 1,91 a	7,0 ± 0,92 a	9,0 ± 1,81 a

¹Médias ± erro padrão seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey (P > 0,05). *Indica diferença entre as populações pelo teste t de Student (P < 0,05).

A sobrevivência de adultos na população suscetível foi menor nos tratamentos que os insetos foram expostos às concentrações subletais de indoxacarbe (Figura 5). A sobrevivência dos insetos submetidos a CL₂₅ foi 30% menor que o controle nos primeiros quatro dias de vida dos adultos, sendo o tratamento que provocou menor sobrevivência ao longo do tempo.

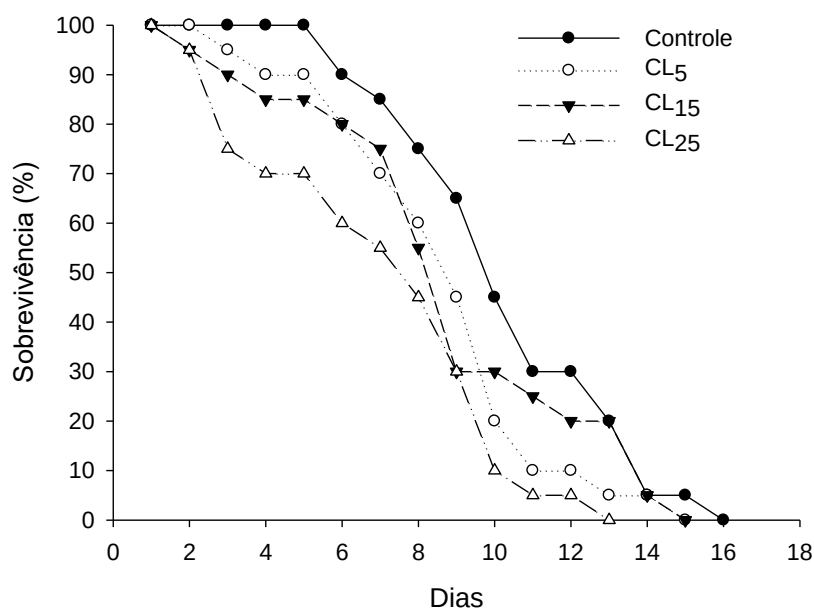


Figura 5. Sobrevivência de adultos da população suscetível de *Plutella xylostella* submetidos a doses subletais de indoxacarbe (Log-Rank $\chi^2 = 8,90$; DF = 3; P = 0,0306).

Não houve diferença entre os tratamentos e o controle na sobrevivência de adultos de *P. xylostella* para a população de campo (Figura 6).

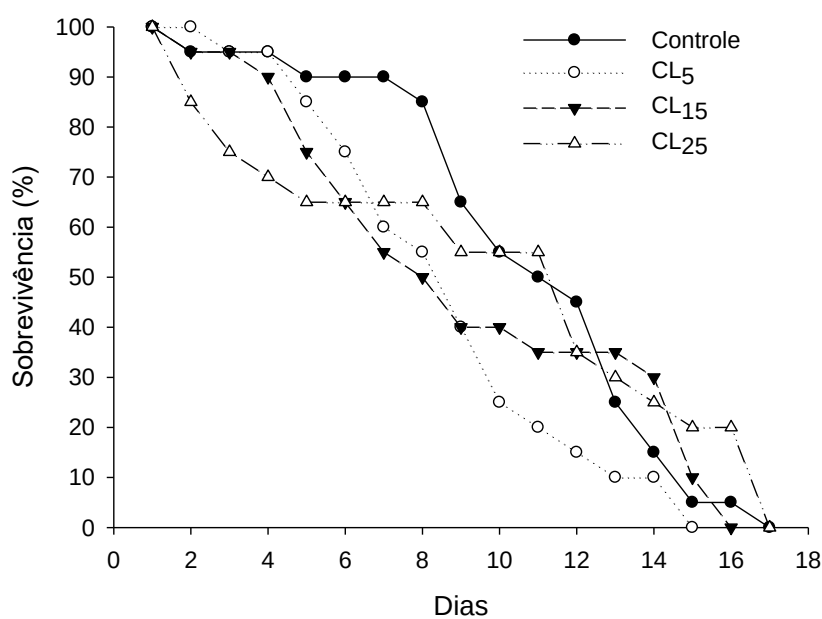


Figura 6. Sobrevivência de adultos da população de campo de *Plutella xylostella* submetidos a doses subletais de indoxacarbe (Log-Rank $\chi^2 = 5,24$; DF = 3; P = 0,1547).

4.3.5. Crescimento e desenvolvimento da prole

Para a população suscetível, os valores médios das taxas líquida de reprodução (R_0), intrínseca de aumento (r_m) e finita de aumento (λ) para o tratamento controle ($R_0 = 74,8$; $r_m = 0,403$; $\lambda = 1,497$) foram maiores que nos grupos tratados, sendo mais elevada a redução na medida em que a concentração de indoxacarbe aumentou. Os tempos para a população duplicar em número (TD) dos tratamentos CL₁₅ e CL₂₅ foram maiores que o controle (2,2 e 2,3 dias, respectivamente). O tempo médio de geração (T) foi maior para as concentrações CL₁₅ e CL₂₅ (11,5 e 11,3 dias, respectivamente) (Tabela 8).

Tabela 8. Parâmetros de tabela de vida de fertilidade para população suscetível de *Plutella xylostella* submetida a concentrações subletais de indoxacarbe.

	Controle	CL ₅	CL ₁₅	CL ₂₅
R_0	74,8 ± 13,99 a ¹ (60,8 – 88,7)	48,3 ± 13,13 b (35,2 – 61,5)	38,0 ± 11,82 bc (26,1 – 49,8)	30,8 ± 11,05 c (19,7 – 41,8)
r_m	0,403 ± 0,02 a (0,379 – 0,429)	0,367 ± 0,02 b (0,342 – 0,393)	0,316 ± 0,03 c (0,283 – 0,349)	0,305 ± 0,03 c (0,271 – 0,339)
λ	1,497 ± 0,04 a (1,460 – 1,535)	1,444 ± 0,04 b (1,407 – 1,481)	1,372 ± 0,05 c (1,326 – 1,418)	1,356 ± 0,05 c (1,310 – 1,402)
T (dias)	10,7 ± 0,31 b (10,4 – 11,0)	10,6 ± 0,67 b (9,9 – 11,2)	11,5 ± 0,50 a (11,0 – 12,0)	11,3 ± 0,72 ab (10,6 – 12,0)
TD (dias)	1,7 ± 0,11 c (1,6 – 1,8)	1,9 ± 0,13 b (1,7 – 2,0)	2,2 ± 0,23 a (1,9 ± 2,4)	2,3 ± 0,25 a (2,0 – 2,5)

¹Médias ± intervalo de confiança seguidas de mesma letra na linha não diferem pela comparação aos pares (pairwise P > 0,05). R_0 = taxa líquida de reprodução; r_m = taxa intrínseca de aumento; λ = razão finita de aumento; T = tempo médio entre gerações; TD = tempo para a população duplicar em número.

Na população de campo, os valores médios de R_0 , r_m e λ no tratamento controle ($R_0 = 61,7$; $r_m = 0,372$; $\lambda = 1,451$) e CL₅ ($R_0 = 51,2$; $r_m = 0,356$; $\lambda = 1,427$) foram maiores do que nos outros grupos, ocorrendo diminuição dos parâmetros à medida que a concentração de indoxacarbe aumentou. O TD do

tratamento CL₂₅ (4,3 dias) foi maior que os demais. O T foi maior para as concentrações CL₁₅ (12,1 dias) e CL₂₅ (12,5 dias) (Tabela 9).

Tabela 9. Parâmetros de tabela de vida de fertilidade para população de campo de *Plutella xylostella* submetida a concentrações subletais de indoxacarbe.

	Controle	CL ₅	CL ₁₅	CL ₂₅
R ₀	61,7 ± 11,94 a (49,7 – 73,6)	51,2 ± 12,69 a (38,5 – 63,9)	18,3 ± 10,25 b (8,0 – 28,5)	6,8 ± 4,72 c (2,1 – 11,5)
r _m	0,372 ± 0,03 a (0,340 – 0,404)	0,356 ± 0,02 a (0,333 – 0,379)	0,242 ± 0,05 b (0,192 – 0,292)	0,158 ± 0,06 c (0,102 – 0,214)
λ	1,451 ± 0,05 a (1,405 – 1,497)	1,427 ± 0,03 a (1,395 – 1,459)	1,274 ± 0,06 b (1,209 – 1,337)	1,171 ± 0,06 c (1,105 – 1,236)
T (dias)	11,1 ± 0,50 b (10,6 – 11,6)	11,1 ± 0,20 b (10,9 – 11,3)	12,1 ± 0,87 a (11,2 – 12,9)	12,5 ± 0,75 a (11,7 – 13,2)
TD (dias)	1,8 ± 0,16 c (1,7 – 2,0)	1,9 ± 0,12 c (1,8 – 2,1)	2,8 ± 0,63 b (2,2 – 3,5)	4,3 ± 1,70 a (2,6 – 5,9)

¹Médias ± intervalo de confiança seguidas de mesma letra na linha não diferem pela comparação aos pares (pairwise P > 0,05). R₀ = taxa líquida de reprodução; r_m = taxa intrínseca de aumento; λ = razão finita de aumento; T = tempo médio entre gerações; TD = tempo para a população duplicar em número.

5. DISCUSSÃO

O indoxacarbe apresenta atividade sobre insetos da ordem Lepidoptera, atuando como bloqueador de canais de sódio (SILVER et al., 2010). No experimento sobre o efeito residual, a mortalidade de lagartas de segundo ínstar de *P. xylostella* diminuiu aos 3 dias após o tratamento foliar para ambas as populações, o que era esperado, pois o intervalo de segurança do inseticida indoxacarbe (RUMO® WG), segundo a bula do produto, é de apenas 1 dia para a traça-das-crucíferas (DUPONT, 2016). A mortalidade da população de campo foi abaixo de 80% após 7 dias à aplicação, que é o mínimo exigido pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento para registro de inseticidas (MAPA, 2012). Esses resultados demonstram que indoxacarbe foi eficaz contra *P. xylostella* até 7 dias após a sua pulverização.

Em 2003 esse resultado era superior, Liu, Sparks e Chen (2003) avaliaram os resíduos foliares de indoxacarbe em condições de campo em repolho e observaram maior atividade residual que os resultados exibidos neste trabalho, com mortalidade acima de 90% até 14 dias após a aplicação, com queda para 46% apenas 21 dias após a aplicação.

O presente estudo mostrou também que o indoxacarbe foi ativo contra *P. xylostella* mesmo em baixas concentrações (CL₅, CL₁₅ e CL₂₅). A CL₅₀ para lagartas de segundo estágio (estágio) de ambas as populações (suscetível-PL e campo-PC) foram de 3,7 e 6,9 mg L⁻¹, respectivamente. Sayyed et al. (2005) e Mahmoudvand et al. (2011) obtiveram resultados inferiores ao da população de campo avaliada neste trabalho, com lagartas de terceiro ínstar de *P. xylostella*, onde a CL₅₀ estimada em após 48 h, foi de 4,0 e 4,82 mg L⁻¹, respectivamente.

A razão de resistência foi 1,88 vezes maior para a população de campo (PC). A população PL nunca havia entrado em contato com esta molécula inseticida e estava sendo criada continuamente em laboratório na ausência de pressão seletiva dos agrotóxicos. Já a população PC foi coletada em uma área onde o produtor utiliza indoxacarbe para o controle de *P. xylostella* e muitas vezes a utilização desta molécula é sucessiva, sem que ocorra a rotação de mecanismos de ação ou supervisão sobre as aplicações. Assim, a população PC foi 1,88 vezes mais resistente, podendo indicar que ela está evoluindo para um cenário de resistência a esta molécula.

Santos (2011) avaliou a resistência de populações em Pernambuco de *P. xylostella* ao indoxacarbe e obteve resultados de CL₅₀ que variaram de 0,20 a 7,57 mg L⁻¹, sendo que populações das cidades de Bonito apresentaram razão de resistência de 4,03 a este inseticida e de Bezerros de 25,3, sendo este último resultado bastante expressivo e indicando que a população está resistente para o indoxacarbe naquele local.

Além dos efeitos letais, o presente estudo também revelou uma série de efeitos subletais do indoxacarbe em *P. xylostella*. As CL₅, CL₁₅ e CL₂₅ geraram amplo intervalo de variação, sendo de 0,37 mg L⁻¹ (para a população PL) a 3,16 mg L⁻¹ (para a população PC). Esses valores reafirmam que a população PC possui maior frequência de indivíduos resistentes. A CL₂₅ obtida

neste estudo para a população PC foi superior àquela encontrada por Mahmoudvand et al. (2011), de 1,69 mg L⁻¹.

Apesar dos sintomas neurotóxicos do indoxacarbe ocasionarem rápida redução na alimentação, sendo eficiente para reduzir o nível de desfolha de *P. xylostella* (WING et al., 2000; MARTINELLI et al., 2003; WING et al., 2010), para a população PL na concentração CL₁₅, o consumo foliar foi maior, e para os outros tratamentos, em ambas as populações, não houve influência do produto no consumo das lagartas, sendo a área foliar ingerida semelhante. Liu, Sparks e Chen (2003) obtiveram resultados contrários aos obtidos neste trabalho, sendo que a maioria das lagartas de *P. xylostella* parou de se alimentar algumas horas após o tratamento com indoxacarbe em altas concentrações, indicando seus efeitos significativos na redução da alimentação. Quando as lagartas estavam em folhas tratadas com baixas concentrações de indoxacarbe, se alimentavam somente até 24 horas (LIU; SPARKS; CHEN, 2003).

Indoxacarbe em concentrações subletais pode causar alterações consideráveis na biologia de lagartas expostas ao produto (WANG et al., 2011). A sobrevivência larval e pupal de *P. xylostella* foram reduzidas à medida que aumentavam as concentrações subletais do produto, porém o peso e o período pupal não diferiram entre os tratamentos dentro das mesmas populações. Resultados semelhantes foram encontrados por Mahmoudvand et al. (2011) em relação a porcentagem de empupação e na emergência de adultos de *P. xylostella*, onde as concentrações subletais de indoxacarbe também foram prejudiciais, porém, ao contrário do observado neste trabalho, o indoxacarbe causou também a diminuição do peso pupal. No entanto, outros estudos com efeitos subletais para *P. xylostella* empregando outros inseticidas, corroboram com o presente estudo, como, por exemplo, o realizado por Han et al. (2012), que não observaram diferença no peso de pupa nas concentrações subletais de chlorantraniliprole.

No presente estudo, não houve diferença em relação à fecundidade e à viabilidade de ovos, entretanto o número de ovos foi menor na concentração CL₂₅ da população PC. Assim, como também observado por Han et al. (2012), o número de ovos foi menor na concentração CL₂₅ para *P. xylostella* alimentadas com folhas tratadas com chlorantraniliprole.

Fujiwara et al. (2002) observaram que a fecundidade das fêmeas de *P. xylostella* aumentou quando as lagartas foram tratadas com fenvalerato na concentração subletal CL₂₅. Há circunstâncias onde dosagens subletais de inseticidas beneficiam o inseto-alvo, sendo chamado de princípio da hormoligose (WIDIARTA et al., 2001). Este fenômeno não foi observado neste trabalho.

O presente estudo também indicou que a sobrevivência de adultos de *P. xylostella* na população PL foi maior no controle do que nos outros tratamentos. Mahmoudvand et al. (2011) também encontrou que a longevidade dos adultos de *P. xylostella* foi reduzida na CL₂₅ de indoxacarbe, quando comparado com o controle. A CL₃₀ de indoxacarbe em larvas de *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836) (Neuroptera: Chrysopidae) não afetou a longevidade dos adultos, mas alongou o período de desenvolvimento de larvas de primeiro ínstar (Golmohammadi et al., 2009).

O uso de parâmetros de tabela de vida é preconizado como meio de avaliar o efeito completo de um inseticida sobre uma população de insetos (STARK; BANKS, 2003). No presente trabalho, as concentrações subletais de indoxacarbe em *P. xylostella* afetaram a dinâmica populacional como mostram os parâmetros de tabela de vida, onde os valores médios da taxa de reprodução líquida (R_0), da taxa de aumento intrínseca (r_m) e da taxa de aumento finito (λ) foram menores nos grupos tratados para ambas as populações. O tempo de duplicação (TD) e o tempo médio de geração (T) dos grupos tratados foram prolongados. Assim, pode-se afirmar que doses subletais de indoxacarbe afetam *P. xylostella* a longo prazo. Os resultados citados por Mahmoudvand et al. (2011), utilizando doses subletais de indoxacarbe em *P. xylostella*, foram semelhantes aos obtidos neste trabalho. Outros autores também relataram que doses subletais de clorantraniliprole e spinosad em *P. xylostella* proporcionaram respostas semelhantes quando foram confeccionadas as respectivas tabelas de vida (YIN et al., 2008; HAN et al., 2012).

Indoxacarbe pode fornecer longa atividade residual, com dados em testes de persistência que confirmaram que esta molécula pode ser efetiva contra *P. xylostella* e *Trichoplusia ni* (Hübner, 1803) (Lepidoptera: Noctuidae) por pelo menos 2 semanas em condições de campo, tornando a população

mais tempo exposta a doses subletais do produto e, conseqüentemente, favorecendo a seleção de indivíduos resistentes (WING et al., 2000; LIU; SPARKS; CHEN, 2003; MARTINELLI et al., 2003; SILVER et al., 2010; WANG et al., 2016). Nehare et al. (2010) relataram que uma população de *P. xylostella* coletada em campo, em pressão de seleção contínua a indoxacarbe, desenvolveu 31,3 vezes a resistência após 10 gerações de seleção. No Havaí, *P. xylostella* desenvolveu resistência de a indoxacarbe após 3 anos de seu uso comercial (2000-2003) (MAU; GUSUKUMA-MINUTO, 2001). Esse cenário demonstra que a população utilizada neste estudo pode vir a se tornar resistente ao longo do tempo, se não houver nenhum tipo de manejo de resistência.

A resistência dos insetos evolui em razão da pressão de seleção constante que é imposta pelo uso excessivo dos inseticidas (RIBEIRO, 2014). De acordo com Wang et al. (2012), *P. xylostella* apresentou resistência a chorantraniliprole parcialmente recessiva e instável, indicando a presença de custos adaptativos associados à resistência. Essas alterações fisiológicas para seleção da resistência a inseticidas geralmente são acompanhadas de impactos pleiotrópicos, por isso a presença de indivíduos resistentes geralmente diminui ao longo do tempo na ausência da pressão de seleção (COUSTAU et al., 2000; ARNOUD; HAUBRUGE, 2002).

O presente trabalho examinou diferenças na biologia das populações PC e PL. A população PC mostrou-se inferior a PL na maioria dos parâmetros avaliados. No experimento de efeito residual, a mortalidade da população de campo (PC) aumentou mais rapidamente do que a população de laboratório (PL) com o passar dos dias. Apesar da PC ser 1,88 vezes mais resistente que a PL, na avaliação dos efeitos subletais PC teve pior desempenho que PL em todos os tratamentos para os parâmetros de sobrevivência larval e pupal, e no tratamento controle em relação ao peso de pupas.

Na avaliação do consumo foliar, para a população PC, observa-se maior consumo do que na população PL, no tratamento controle, sendo que nos demais tratamentos, com a presença do inseticida, o consumo foi menor que a população PL. Quando foi confeccionada a tabela de vida da população PC, o tempo médio entre as gerações (T) e o tempo para a população duplicar em número (TD) também foi maior nas concentrações mais altas do que na

população PL. Essas diferenças nos parâmetros biológicos pode sugerir alterações no “fitness” dos indivíduos resistentes da população de campo associado a um custo adaptativo na falta do produto que induz a pressão de seleção (ROUSH; MCKENZIE, 1987).

Na maioria das vezes, indivíduos resistentes apresentam algumas desvantagens em relação aos suscetíveis, e esse custo adaptativo dos organismos resistentes geralmente está relacionado à sua capacidade de sobrevivência e de reprodução, apresentando parâmetros de menor fecundidade, menor viabilidade e maior tempo para desenvolvimento (ROUSH; MCKENZIE, 1987; RIBEIRO, 2014).

Na manutenção dos mecanismos que conferem resistência, a realocação de recursos para seu desenvolvimento também pode ser afetada, diminuindo o potencial reprodutivo de fenótipos resistentes (BERTICAT et al, 2002; SAYYED; AHMAD; CRICKMORE, 2008). Dessa maneira, comparações entre indivíduos resistentes e suscetíveis são estudadas analisando-se parâmetros como viabilidade, fecundidade, tempo de desenvolvimento e fertilidade (GEORGHIOU; TAYLOR, 1986). Sayyed, Ahmad e Crickmore (2008) avaliaram o custo adaptativo no desenvolvimento de resistência para indoxacarbe e deltamethrin em *Heliothis virescens* (Fabricius, 1781) (Lepidoptera: Noctuidae) e observaram que a taxa média de crescimento das larvas, o período pupal e o peso pupal nas populações resistentes foi menor que nas não selecionadas.

Os indivíduos resistentes são menos adaptados que os suscetíveis, sendo minoria na população em condições normais, e esse valor tende a subir quando a pressão de seleção é intensificada, ou seja, na presença do inseticida (CRUZ, 2002). Contudo, essas desvantagens relacionadas ao custo adaptativo da resistência podem ser melhoradas com a evolução do tempo pela coadaptação dos indivíduos resistentes, o que só é possível de se observar em estudos ao longo de gerações (OMOTO, 2000).

É irrefutável a destreza com que os insetos se adaptam a diferentes agentes de controle. Dessa maneira, é importante fiscalizar a utilização dos produtos para que a resistência não se torne um problema (OMOTO; RISCO; SCHMIDT, 2017). O indoxacarbe é um inseticida eficaz para o controle de *P. xylostella* e ainda são poucos locais no Brasil onde foram relatadas resistência

a este produto (APRD, 2017). A efetivação de um programa de manejo de resistência é melhor quando a frequência de resistência ainda é baixa (SCHMIDT, 2002) assim como está a frequência na população de campo avaliada neste trabalho.

Uma vez identificada a resistência, independentemente da sua frequência, pode-se implementar programas de manejo da resistência, que são mais eficazes no início da sua evolução (OMOTO; RISCO; SCHMIDT, 2017). A tática mais recomendada é a aplicação alternada de agrotóxicos que possuem diferentes mecanismos de ação, pois indivíduos resistentes a determinado produto geralmente se comportam como suscetíveis a outros e assim evitar a seleção de organismos resistentes em populações de campo. (GEORGHIOU, 1983). Para o sucesso da rotação é preciso que haja custo adaptativo dos indivíduos resistentes na ausência da pressão de seleção e que não exista resistência cruzada entre os componentes da rotação (OMOTO; RISCO; SCHMIDT, 2017).

Outra forma de manutenção da resistência é a utilização de subdosagens (inferior a recomendada pelo fabricante), alcançando o controle aceitável da praga, ou seja, a maior parte dos indivíduos suscetíveis são controlados e a seleção dos indivíduos resistentes é retardada. (TABASHNIK; CROFT, 1982; OMOTO; RISCO; SCHMIDT, 2017). Os resultados obtidos neste estudo demonstraram as alterações em parâmetros importantes para a dinâmica populacional de *P. xylostella* tratado com doses subletais de indoxacarbe, como a diminuição da fecundidade e da sobrevivência de adultos, pupas e lagartas. Ou seja, os indivíduos sobreviventes não causariam o mesmo dano nas próximas gerações e haveriam indivíduos suscetíveis remanescentes o suficiente para cruzar com indivíduos resistentes. Esse método deve ser utilizado com muito cuidado, sendo apenas benéfico no manejo de resistência quando é viável a sobrevivência de determinada quantidade de insetos no campo (de 20 a 30% da população) a fim de promover o cruzamento de indivíduos suscetíveis com os indivíduos resistentes, retardando a sua seleção (TABASHNIK; CROFT, 1982; OMOTO; RISCO; SCHMIDT, 2017).

Os ensaios subletais fornecem informações sobre a toxicidade dos produtos e a linha básica de suscetibilidade de insetos, que é o começo de um

programa preventivo de manejo da resistência (SCHMIDT, 2002). Além disso, o conhecimento dos efeitos de inseticidas auxilia no manejo integrado de pragas, na manutenção das populações no nível de equilíbrio e também na associação a programas de controle biológico. (TABASHNIK; CROFT, 1982; OMOTO, 2000; OMOTO; RISCO; SCHMIDT, 2017).

No Brasil, há insuficiência de informações sobre a suscetibilidade regional das pragas aos inseticidas utilizados para seu controle e de se implementar programas de manejo de resistência (preventivos e curativos), para garantir maior durabilidade do controle químico (MARÇON, 2004). Verifica-se então que estudos de resistência aos inseticidas são perfeitamente pertinentes, tanto para melhoria dos programas de MIP, quanto para avaliação dos processos evolutivos das pragas (ROUSH; MCKENZIE 1987; RAYMOND et al., 2001).

Os estudos toxicológicos em insetos normalmente focam nos efeitos letais (toxicidade aguda) nos organismos-alvo. No entanto, estudos relacionados a efeitos subletais (toxicidade crônica) são importantes para avaliar possíveis impactos no ambiente agrícola, uma vez que organismos debilitados se comportam de maneira distinta. Conhecer os efeitos subletais fornecem informações importantes para futuros estudos em relação aos efeitos deletérios e possíveis utilizações de subdosagens, tanto no MIP, como no manejo da resistência a inseticidas químicos.

Desta forma, novos estudos devem ser realizados com novas coletas de indivíduos de *P. xylostella* na mesma área no campo, para determinar se a frequência de indivíduos resistentes está aumentando, visando o monitoramento da resistência e a implementação de algum programa de manejo. Ademais, estudos futuros também precisam ainda ser dirigidos aos efeitos de concentrações subletais de indoxacarbe em *P. xylostella* ao longo de gerações, visto que nas próximas gerações sucessivamente expostas aos resíduos do produto, ainda podem ocorrer alterações nas características biológicas da praga.

6. CONCLUSÕES

O indoxacarbe é eficaz contra *P. xylostella*, sendo que suas concentrações subletais influem negativamente nas características biológicas do inseto.

A população de campo de *P. xylostella* apresenta características relacionadas ao custo adaptativo no desenvolvimento deste inseto, indicando possível evolução da resistência a indoxacarbe.

É possível a utilização de subdosagens, tanto para a implementação de um programa de manejo integrado de pragas, como de manejo da resistência a inseticidas químicos (principalmente no início dessa evolução da frequência de indivíduos resistentes).

7. REFERÊNCIAS

AGROFIT. **Sistema de agrotóxicos fitossanitários**. Coordenação Geral de Agrotóxicos e Afins. 2017. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 31 jul. 2017.

AL-SHEHBAZ, I. A.; BEILSTEIN, M. A.; KELLOGG, E. A. Systematics and phylogeny of the Brassicaceae (Cruciferae): an overview. **Plant Systematics and Evolution**, New York, v. 259, n. 2-4, p. 89-120, 2006.

ANKERSMIT, G. W. DDT resistance in *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lepidoptera) in Java. **Bulletin of Entomological Research**, Farnham Royal, v. 44, n. 3, p. 421–425, 1953.

APRD, **Arthropod Pesticide Resistance Database**. Disponível em: <<http://www.pesticideresistance.org/>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

ARNOUD, L.; HAUBRUGE, E. Insecticide resistance enhances male reproductive success in a beetle. **Evolution**, London, v. 56, n. 12, p. 2435-2444, 2002.

BACCI, L.; PICANÇO, M. C.; SILVA, É. M. D.; MARTINS, J. C.; CHEDIAK, M.; SENA, M. E. Insecticide physiological selectivity to natural enemies of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in Brassicae. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. SPE, p. 2045-2051, 2009.

BERRY, P. E. Brassicales. **Encyclopedia Britannica Inc** 2015. Disponível em: <<https://www.britannica.com/plant/Brassicales>>. Acesso em: 27 jun 2017.

BERTICAT, C.; BOQUIEN, G.; RAYMOND, M.; CHEVILLON, C. Insecticide resistance genes induce a mating competition cost in *Culex pipiens* mosquitoes. **Genetics Research**, Cambridge, v. 79, n. 1, p. 41-47, 2002.

BOIÇA JÚNIOR, A. L.; TAGLIARI, S. R. A.; PITTA, R. M.; JESUS, F. G. D.; BRAZ, L. T. Influence of cabbage genotypes (*Brassica oleracea* L. var. acephala DC.) on the biology of *Plutella xylostella* (L., 1758)(Lepidoptera: Plutellidae). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 710-717, 2011.

BONDAR, G. Uma séria praga do repolho na Bahia *Plutella maculipennis* Curtis. **Chácaras e Quintais**, São Paulo, v. 38, n. 6, p. 602, 1928.

CARTEA, M. E.; LEMA, M.; FRANCISCO, M.; VELASCO, P. M. Basic information on vegetable *Brassica* crops. In: SADOWSKI, J.; KOLE, C. (Eds.). **Genetics, genomics and breeding of vegetable brassicas**. Enfield: Science Publishers, 2011. p. 1-33.

CASTELO BRANCO, M.; FRANCA, F. H. Traça das crucíferas. *Plutella xylostella* (L.). In: VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A. (Eds.). **Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros**. Piracicaba: Fealq, 2015. p. 516-528.

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**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 60-63, 2001.

CASTELO BRANCO, M.; FRANCA, F. H.; VILLAS BOAS, G. L. **Traça-das-crucíferas (*Plutella xylostella*)**. Brasília: EMBRAPA, 1997. 4 p. (Comunicado Técnico - Hortaliças).

CAPINERA, J. L. **Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Insecta: Lepidoptera: Plutellidae)**. University of Florida, 2015. Disponível em: <<https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN27600.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

CEASA (Centrais de Abastecimento de Campinas). **Couve-flor**. 2017. Disponível em: <<http://www.ceasacampinas.com.br/>>. Acesso em: 28 jun. de 2017.

CHAPMAN, J. W.; REYNOLDS, D. R.; SMITH, A. D.; RILEY, J. R.; PEDGLEY D. E.; WOWOD, I. P. High altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the UK: a study using radar, aerial netting, and ground trapping. **Ecological Entomology**, London, v. 27, n. 7, p. 641-650, 2002.

CHARLESTON, D.; S.; KFIR, R. The possibility of using Indian mustard, *Brassica juncea*, as a trap crop for the diamondback moth, *Plutella xylostella*, in South Africa. **Crop Protection**, Guildford, v. 19, p. 455-460, 2000.

CHU, Y. I. The migration of diamondback moth. In: TALEKAR N. S.; GRIGGS, T. D. **Diamondback moth management**, Taiwan: AVRDC, 1986. p. 86-248

COUSTAU, C.; CHEVILLON, C. Resistance to xenobiotics and parasites: can we count the cost?. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v. 15, n. 9, p. 378-383, 2000.

CRUZ, I.; SILVA, F. M. A.; FIGUEIREDO, M. L. C. Seletividade do inseticida indoxacarb sobre os inimigos naturais de *Spodoptera frugiperda*. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23, 2000, Uberlândia, MG. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/483922/1/Seletividadeinseticida.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

CRUZ, I. Controle biológico em manejo integrado de pragas. In: PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORREA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. (Eds.) **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. p. 543-570.

CZEPAK, C.; FERNANDES, P. M.; SANTANA, H. G.; TAKATSUKA, F. S.; ROCHA, C. L. Eficiência de inseticidas para o controle de *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) na cultura do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 2, p. 129-131, 2005.

DE BORTOLI, S. A.; POLANCZYK, R. A.; VACARI, A. M.; DE BORTOLI, C. P.; DUARTE, R. T. *Plutella xylostella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Plutellidae): tactics for integrated pest management in Brassicaceae. In: SOLONESKI, S.; LARRAMENDY, M. (Eds.). **Weed and pest control** - conventional and new challenges. Rijeka: InTech, 2013. p. 31-51.

DE BORTOLI, S. A.; VACARI, A. M.; LEMES, A. A. F.; DE BORTOLI, C. P.; RAMALHO, D. G.; VIEIRA, N. F.; SANTOS, R. F. Produção de insetos e o controle biológico aplicado. In: CASTILHO, R. C.; BARILLI, D. R.; TRUZI, C. C. (Eds.). **Tópicos em entomologia agrícola - X**. Jaboticabal: Gráfica Multipress, 2017. p. 78-80.

DELPUECH, J. M.; MEYET, J. Reduction in the sex ratio of the progeny of a parasitoid wasp (*Trichogramma brassicae*) surviving the insecticide chlorpyrifos. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, Berlin, v. 45, n. 2, p. 203-208, 2003.

DIAS, D. G. S.; SOARES, C. M. S.; MONNERAT, R. G. Avaliação de larvicidas de origem microbiana no controle da traça-das-crucíferas em couve-flor. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 553-556, 2004.

DIXON, G. R. **Vegetable brassicas and related crucifers**. Oxfordshire: CABI Publishing, 2007. 327 p.

DUPONT, **Bula Rumor® WG**, 2016. Disponível em: <http://www.dupont.com.br/content/dam/dupont/products-and-services/crop-protection/documents/pt_br/RumorWG_Bula.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2017.

FIGUEROA, C. A. S. **Alternância de hospedeiros de criação e efeito de bioinseticidas no parasitismo de *Trichogramma pretiosum* em ovos de *Plutella xylostella***. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2015.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.

FINNEY, D. J. **Probit analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 1971. 333 p.

FITT, G. P.; OMOTO, C.; MAIA, A. H.; WAQUIL, J. M.; CAPRIO, M.; OKECH, M. A.; IA, E.; HUAN, N. H.; ANDOW, D. A. Resistance risks of *Bt* cotton and their management in Brazil. In: HILBECK, A.; ANDOW, D. A.; FONTES, E. M. G. (Eds.). **Environmental risk assessment of genetically modified organisms**: Methodologies for assessing *Bt* cotton in Brazil. Cambridge: CABI Publishing, 2006. p. 300-345.

FRAGOSO, D. B. **Duro de matar: os superinsetos resistentes a inseticidas da agricultura!** Embrapa Pesca e Aquicultura-Outras publicações técnicas, Fronteira Agrícola, Palmas, n. 5, 2014. 2 p. (Informativo Técnico - INFOTECA-E).

FREITAS LUZ, F. J.; SABOYA, R. C. C.; SILVA PEREIRA, P. R. V. **O cultivo do repolho em Roraima.** EMBRAPA: Boa Vista, 2002. 17 p. (Circular Técnica).

FROST, S. W. The diamondback moth in Pennsylvania. **Journal of Economic Entomology**, Oxford, v. 42, n. 4, p. 681-682, 1949.

FUJIWARA, Y.; TAKAHASHI, T.; YOSHIOKA, T.; NAKASUJI, F. Changes in egg size of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) treated with fenvalerate at sublethal doses and viability of the eggs. **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 37, n. 1, p. 103-109, 2002.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; BATISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola.** Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

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

GEORGHIOU, G. P.; TAYLOR, C. E. Operational influences in the evolution of insecticide resistance. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 70, p. 653-658, 1977a.

GEORGHIOU, G. P.; TAYLOR, C. E. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 70, p. 319-323, 1977b.

GEORGHIOU, G. P.; TAYLOR, C. E. Factors influencing the evolution of resistance. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (Ed.). **Pesticide resistance: strategies and tactics for management**. Washington: National Academies Press, cap 3, 1986. p. 157-169.

GODIN, C.; BOVIN, G. Lepidopterous pests of Brassica crops and their parasitoids in southwestern Quebec. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 27, n. 5, p. 1157-1165, 1998.

GOLMOHAMMADI, G.; HEJAZI, M.; IRANIPOUR, S.; MOHAMMADI, S. A. Lethal and sublethal effects of endosulfan, imidacloprid and indoxacarb on first instar larvae of *Chrysoperla carnea* (Neu.: Chrysopidae) under laboratory conditions. **Journal of Entomological Society of Iran**, Tehran, v. 28, n. 2, p. 37-47, 2009.

HAMA, H.; KONO, Y.; SATO, Y. Decreased sensitivity of central nerve to fenvalerate in the pyrethroid-resistant diamondback moth, *Plutella xylostella* Linn. (Lepidoptera: Yponomeutidae). **Applied Entomology Zoology**, Tokyo, v. 22, p. 176–180, 1987.

HAN, W. S.; WANG, L. H.; SUN, H. H.; GAO, X. W. Research progress on sublethal effects of insecticides on insect. **China Plant Protection**, Beijing, v. 31, n. 11, p. 15-20, 2011.

HAN, W.; ZHANG, S.; SHEN, F.; LIU, M.; REN, C.; GAO, X. Residual toxicity and sublethal effects of chlorantraniliprole on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Pest Management Science**, Sussex, v. 68, n. 8, p. 1184-1190, 2012.

HAYNES, K. F. Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 33, p. 149-168, 1988.

HASEEB, M.; AMANO, H. Effects of contact, oral and persistent toxicity of selected pesticides on *Cotesia plutellae* (Hym., Braconidae), a potential parasitoid of *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae). **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 126, n. 1, p. 8-13, 2002.

HONG, C. P.; KWON, S. J.; KIM, J. S.; YANG, T. J.; PARK, B. S.; LIM, Y. P. Progress in understanding and sequencing the genome of *Brassica rapa*. **International Journal of Plant Genomics**, New York, 9 p., 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2008/582837>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

IMENES, S. D. L.; CAMPOS, T. B.; RODRIGUES NETTO, S. M.; BERGMANN, E. C. Avaliação da atratividade de feromônio sexual sintético da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), em cultivo orgânico de repolho. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 69, n. 1, p. 81-84, 2002.

IRAC. **Classificação do modo de ação de inseticidas**. Versão 8.1, Abril, 2016. Disponível em: <www.irac-online.org>. Acesso em: 24 jul. 2017.

KAO, C. H.; HUNG, C. F.; SUN, C. N. Parathion and methyl parathion resistance in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) larvae. **Journal of Economic Entomology**, Lanhan, v. 82, n. 5, p. 1299–1304, 1989.

KAPLAN, E. L.; MEYER, P. Nonparametric estimation from incomplete observations. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 53, n. 282, p. 457- 481, 1958.

KERNS, D. L.; STEWART, S. D. Sublethal effects of insecticides on the intrinsic rate of increase of cotton aphid. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrech, v. 94, p. 41–49, 2000.

KOSHIHARA. T.; YAMADA. H. Attractant activity of the female sex pheromone of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), and analogue. **Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 24, n. 1, p. 6-12, 1980.

KREBS, C. J. **Ecology**: the experimental analysis of distribution and abundance. New York: Harper Collins, v.3, 1994. 800 p.

LIU, T. X.; SPARKS, A. N.; CHEN, W. Toxicity, persistence and efficacy of indoxacarb and two other insecticides on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) immatures in cabbage. **International Journal of Pest Management**, Abingdon, v. 49, n. 3, p. 235-241, 2003.

MAHMOUDVAND. M.; ABBASIPOUR. H.; GARJAN. A. S.; BANDANI. A. R. Sublethal effects of indoxacarb on the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae). **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 46, n. 1, p. 75-80, 2011.

MAIA, A. H. N.; LUIZ, A. J. B.; CAMPANHOLA, C. Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: computational aspects. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, n. 2, p. 511-518, 2000.

MAPA Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Procedimentos para Registro de Agrotóxicos**: Coordenação Geral de Agrotóxicos e Afins. 2012. Disponível em: < www.agricultura.gov.br/>. Acesso em: 20 jul. 2017.

MARÇON, P. C. R. G. **Programa global de manejo preventivo de resistência de pragas ao inseticida indoxacarb**. 2004. Disponível em: < http://docs.wixstatic.com/uqd/2bed6c_59cf24f8cd31415e96ebb56ee5398f12.pdf >. Acesso em: 24 jul. 2017.

MARTINELLI, S.; MONTAGNA, M. A.; PICINATO, N. C.; SILVA, F. M.; FERNANDES, O. A. Eficácia do indoxacarb para o controle de pragas em hortaliças. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 501-505, 2003.

MARTINELLI, S.; OMOTO, C. Resistência de lepidóteros-praga a inseticidas na cultura do algodão no Brasil. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 1167-1182, 2006.

MAU, R. F.; GUSUKUMA-MINUTO, L. Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), resistance management in Hawaii. In: **The management of diamondback moth and other crucifer pests**: Proceedings of the 4th International Workshop. Melbourne, 2001. p. 26-29.

MAY, A.; TIVELLI, S. W.; VARGAS, P. F.; SAMRA, A. G.; SACCONI, L. V.; PINHEIRO, M. Q. **A cultura da couve-flor**. Campinas, v. 200, 2007. 43 p. (Boletim Técnico IAC).

MCCANN, S. F.; ANNIS, G. D.; SHAPIRO, R.; PIOTROWSKI, D. W.; LAHM, G. P.; LONG, J. K.; LEE, K. C.; HUGHES, M. M.; MYERS, B. J.; GRISWOLD, S. M.; REEVES, B. M.; MARCH, R. W.; SHARPE, P. L.; LOWDER, P.; BARNETTE, W. E.; WING, K. D. The discovery of indoxacarb: oxadiazines as a new class of pyrazoline-type insecticides. **Pest Management Science**, Sussex, v. 57, n. 2, p. 153-164, 2001.

MEDEIROS, P. T.; DIAS, J. M. C. S.; MONNERAT, R. G.; SOUZA, N. R. **Instalação e manutenção de criação massal da traça-das-crucíferas (*Plutella xylostella*)**. Brasília: EMBRAPA, 2003. 4 p. (Circular Técnica).

MEDEIROS, P. T.; SONE, E. H.; SOARES, C. M. S.; DIAS, J. M. C. S.; MONNERAT, R.G. Avaliação de produtos à base de *Bacillus thuringiensis* no controle da traça-das-crucíferas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 245-248, 2006.

MICHEREFF, M. F. F.; VILELA, E. F.; MICHEREFF FILHO, M.; MAFRA NETO, A. Uso do feromônio sexual sintético para captura de machos da traça-das-crucíferas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1919-1926, 2000.

MONNERAT, R. G. **Interrelations entre la teigne des cruciferes, *Plutella xylostella*, son parasitoide *Diadegma* sp. et la bacteria entomopathogene *Bacillus thuringiensis* Berliner.** 1995. 160 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Ecole Nationale Superieure Agronomique de Montpellier, Montpellier, 1995.

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**, Seoul, v. 13, n. 2, p. 91-95, 2010.

NEMOTO, H. Mechanism of resurgence of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae). **Japan Agricultural Research Quarterly**, Ibaraki, v. 27, p. 27-32, 1993.

NEVES, B. P.; NOGUEIRA, J. C. M. **Cultivo e utilização do nim indiano (*Azadirachta indica* A. Juss.).** Goiânia: EMBRAPA, 1996. 32 p. (Circular Técnica, 28).

NOPPUN, V.; SAITO, T.; MIATA, T. Cuticular penetration of S-fenvalerate in fenvalerate-resistant and susceptible strains of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 33, n. 1, p. 83-87, 1989.

OMOTO, C. Modo de ação dos inseticidas e resistência de insetos a inseticidas. In: GUEDES, J. C.; COSTA, I. D.; CASTIGLIONI, E. (Eds.). **Bases e técnicas de manejo de insetos.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2000. p. 30-49.

OMOTO, C.; RISCO, M. D. M.; SCHMIDT, J. B. **Manejo da resistência de pragas a inseticidas.** Disponível em: <
http://docs.wixstatic.com/ugd/2bed6c_45d9f11b77264389945f15bc2b14ce63.pdf
>. Acesso em: 25 jul. 2017.

PIVNICK, K. A.; JARVIS, B. J.; GILLOTT, C.; SLATER, G. P.; UNDERHILL, E. W. Daily patterns of reproductive activity and the influence of adult density and exposure to host plants on reproduction in the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Environmental Entomology**, Lanham, v. 19, n. 3, p. 587-593, 1990.

RAYMER P. L. Canola: an emerging oilseed crop. In: JANWICK J.; WHIPKEY, A. (Eds.). **Trends in new crops and new uses**. Alexandria: ASHS Press, v. 1, 2002. p. 122-126.

RAYMOND, M.; BERTICAT, C.; WEILL, M.; PASTEUR, N.; CHEVILLON, C. Insecticide resistance in the mosquito *Culex pipiens*: what have we learned about adaptation?. **Genetica**, Dordrecht, v. 112, n. 1, p. 287-296, 2001.

REZAEI, M.; TALEBI, K.; HOSSEINI, N. V.; KAVOUSHI, A. Impacts of the pesticides imidacloprid, propargite and pymetrozine on *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae): IOBC and life table. **BioControl**, Dordrecht, v. 52, n. 3, p. 385-398, 2007.

RIBEIRO, R. S. **Monitoramento da suscetibilidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a inseticidas diamidas no Brasil.** 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

ROBERTSON, J. L.; WORNER, S. P. Population toxicology: suggestions for laboratory bioassays to predict pesticide efficacy. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 83, n. 1, p. 8-12, 1990.

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

SANTOS, V. C.; DE SIOUEIRA, H. A. A.; DA SILVA, J. E.; DE 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**, Londrina, v. 40, n. 2, p. 264-270, 2011.

SAS INSTITUTE. **SAS/IML® 14.1 User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2015.

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**, Lanham, v. 101, n. 6, p. 1927-1933, 2008.

SAYYED, A. H.; ATTIOUE, M. N. R.; KHALIO, A.; WRIGHT, D. J. Inheritance of resistance and cross-resistance to deltamethrin in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from Pakistan. **Pest Management Science**, Sussex, v. 61, n. 7, 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**, Sussex, v. 62, n. 11, p. 1045-1051, 2006.

SEAB, Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Olericultura - Análise da Conjuntura Agropecuária**: Fevereiro 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2016/Olericultura_2015_16.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2017.

SCHMIDT, F. B. **Linha básica de suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a Lufenuron na cultura do milho**. 2002. 48 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SHELTON, A. M.; SANCES, F. V.; HAWLEY, J.; TANG, J. D.; BOUNE, M.; JUNGERS, D.; COLLINS, H. L.; FARIAS, J. Assessment of insecticide resistance after the outbreak of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in California in 1997. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, n. 3, p. 931-936, 2000.

SHELTON, A. M. Management of the diamondback moth: de´ ja` vu all over again? In: ENDERSBY, N. M.; RIDLAND, P. M. (Ed.). **The management of diamondback moth and other crucifer pests proceedings of the fourth International workshop**. Melbourne: Department of Natural Resources and Environment, 2004. p. 3–8.

SILVA, V. C. A.; BARROS, R.; MARQUES, E. J.; TORRES, J. B. Suscetibilidade de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) aos fungos *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. e *Metarhizium anisopliae* (Metsch). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 653-665, 2003.

SILVA-TORRES, C. S. A.; PONTES, I. V. A. F.; TORRES, J. B.; BARROS, R. New records of natural enemies of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) in Pernambuco, Brasil. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 39, n. 5, p. 835-838, 2010.

SILVEIRA NETO, S.; NAKANO, O.; BARDIN, D.; VILA NOVA, N. A. **Manual de ecologia dos insetos**. São Paulo: Editora Ceres, 1976, 420 p.

SILVER, K. S.; SONG, W.; NOMURA, Y.; SALGADO, V. L.; DONG, K. Mechanism of action of sodium channel blocker insecticides (SCBIs) on insect sodium channels. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, Amsterdam, v. 97, n. 2, p. 87-92, 2010.

SOUTHWOOD, T. R. E.; HENDERSON, P. A. **Ecological methods**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. p. 404-433.

STARK, J. D.; BANKS, J. E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 48, n. 1, p. 505-519, 2003.

STORCH, G.; LOECK, A. E.; REMOR, M.; PELOIA, P. Efeitos subletais de inseticidas sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), utilizados na cultura do milho. **Scientia Agraria Paranaensis**, Maringá, v. 13, n. 1, p. 71-79, 2014.

TABASHNIK, B. E. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 39, p. 47-79, 1994.

TABASHNIK, B. E.; CROFT, B. A. Managing pesticide resistance in crop-arthropod complexes: interactions between biological and operational factors. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 11, n. 6, p. 1137-1144, 1982.

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**, College Park, v. 83, p. 1671-76, 1990.

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

THULER, R. T. ***Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae): táticas para o manejo integrado em brássicas**. 2006. 79 f. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

THULER, R. T. Criação de *Plutella xylostella*. In: DE BORTOLI, S. A. (Ed.). **Criação de insetos: da base à biofábrica**. Jaboticabal: Edição própria, 2009. p. 58-68.

TIBA, L. M. **Efeito de alguns inseticidas sobre a mariposa *Plutella xylostella* (L., 1758) (Lepidoptera, Plutellidae) por meio de iscas esterilizantes**. 2008. 58 f. Dissertação (Mestrado Entomologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

TORRES, A. L.; BARROS, R.; OLIVEIRA, J. V. de. Efeito de extratos aquosos de plantas no desenvolvimento de *Plutella xylostella* (L., 1758) (Lepidoptera: Plutellidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 151-156, 2001.

TOSHIO, N. Nerve membrane Na⁺ channels as targets of insecticides. **Trends in Pharmacological Sciences**, Amsterdam, v. 13, p. 236-241, 1992.

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

VACARI, A. M.; VOLPE, H. X. L.; GOULART, R. M.; VIANA, C. L. T. P.; BENVENGA, S. R.; CARVALHO, J. S.; THULER, R. T.; DE BORTOLI, S. A. Integração de métodos de controle de pragas em hortaliças: experiência prévia para uma aplicação segura. In: ARAUJO, E. S.; VACARI, A. M.; CARVALHO, J. S.; GOULART, R. M.; CAMPOS, A. P.; VOLPE, H. X. L. (Eds.). **Tópicos em entomologia agrícola**. Ribeirão Preto: Maxicolor Gráfica e Editora, 2008. p. 84-99.

VIEIRA, N. F. **Metodologia de criação, aspectos biológicos e custo de produção de *Xylocoris* afer predando ovos de *Corcyra cephalonica* e *Plutella xylostella***. 2016. 91f. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2016.

WANG, D.; GONG, P.; LI, M.; QIU, X.; WANG, K. Sublethal effects of spinosad on survival, growth and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Pest Management Science**, Sussex, v. 65, n. 2, p. 223-227, 2009.

WANG, G.; HUANG, X.; WEI, H.; FADAMIRO, H. Y. Sublethal effects of larval exposure to indoxacarb on reproductive activities of the diamondback moth. *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, Lanham, v. 101, n. 3, p. 227-231, 2011.

WANG, X. L.; SU, W.; ZHANG, J. H.; YANG, Y. H.; DONG, K.; WU, Y. D. Two novel sodium channel mutations associated with resistance to indoxacarb and metaflumizone in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. **Insect Science**, Elmsford, v. 23, n. 1, p. 50-58, 2016.

WANG, X.; WU, Y. High levels of resistance to chlorantraniliprole evolved in field populations of *Plutella xylostella*. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 105, n. 3, p. 1019-1023, 2012.

WANG, X. Y.; YANG, Z. Q.; SHEN, Z. R.; LU, J.; XU, W. B. Sublethal effects of selected insecticides on fecundity and wing dimorphism of green peach aphid (Hom., Aphididae). **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 132, n. 2, p. 135-142, 2008.

WIDIARTA, I. N.; MATSUMURA, M.; SUZUKI, Y.; NAKASUJI, F. Effects of sublethal doses of imidacloprid on the fecundity of green leafhoppers, *Nephotettix* spp. (Hemiptera: Cicadellidae) and their natural enemies. **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 36, n. 4, p. 501-507, 2001.

WING, K. D.; ANDALORO, J. T.; MCCANN, S. F.; SALGADO, V. L. Indoxacarb and the sodium channel blocker insecticides: chemistry, physiology and biology in insects. In: GILBERT, L. I.; GILL, S. S. (Eds.). **Insect control biological and synthetic agents**, Amsterdam: Academic Press, 2010, p. 35-57.

WING, K. D.; SACHER, M.; KAGAYA, Y.; TSURUBUCHI, Y.; MULDERIG, L.; CONNAIR, M.; SCHNEE, M. Bioactivation and mode of action of the oxadiazine indoxacarb in insects. **Crop Protection**, Guildford, v. 19, n. 8, p. 537-545, 2000.

WING, K. D.; SCHNEE, M. E.; SACHER, M.; CONNAIR, M. A novel oxadiazine insecticide is bioactivated in lepidopteran larvae. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, New York, v. 37, n. 1, p. 91-103, 1998.

YIN, X. H.; WU, O. J.; LI, X. F.; ZHANG, Y. J.; XU, B. Y. Sublethal effects of spinosad on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). **Crop Protection**, Guildford, v. 27, n. 10, p. 1385-1391, 2008.

ZALUCKI, M. P.; SHABBIR, A.; SILVA, R.; ADAMSON, D.; SHU-SHENG, L.; 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**, Lanham, v. 105, n. 3, p. 1115-1129, 2012.

ZANUNCIO, T. V.; ZANUNCIO, J. C.; SERRÃO, J. E.; MEDEIROS, R. S.; PINON, T. B.; SEDIYAMA, C. A. Fertility and life expectancy of the predator *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae) exposed to sublethal doses of permethrin. **Biological Research**, Santiago de Chile, v. 38, n. 1, p. 31-39, 2005.

ZHAO, J. Z.; COLLINS, H. L.; LI, Y. X.; MAU, R. F. L.; THOMPSON, G. D.; HERTLEIN, M. Monitoring of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad, indoxacarb, and emamectin benzoate. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 99, n. 1, p. 176-181, 2006.