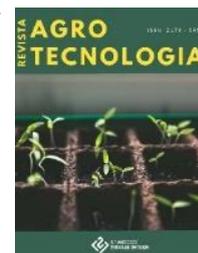


INSETOS E ÁCAROS: RESISTÊNCIA A PESTICIDAS E ESTRATÉGIAS DE MANEJO

INSECTS AND MITES: PESTICIDES RESISTANCE AND MANAGEMENT STRATEGIES

Luciano Nogueira¹, Cirano Cruz Melville²



Resumo: O primeiro caso de evolução de resistência de artrópodes à inseticidas foi reportado em 1914, com a cochonilha de São José, *Quadraspidiotus perniciosus* (Hemiptera: Diaspididae) ao enxofre. Os casos de evolução de resistência continuam expandindo, assim como o número de espécies que desenvolveram resistência a um ou mais grupos de pesticidas. O controle químico com inseticidas e acaricidas, ainda, é a principal tática de manejo utilizada pelos agricultores em todo o mundo e são ferramentas altamente valiosas e eficazes no controle das principais pragas agrícolas. Embora muitas espécies de insetos ainda sejam controladas com sucesso por estes produtos, o uso intensivo aumenta a pressão de seleção de populações de pragas-alvo resistentes. Portanto, torna-se necessário o conhecimento a cerca dos mecanismos e fatores que podem contribuir para a evolução de resistência de insetos e ácaros aos pesticidas, bem como as principais estratégias de manejo de resistência, consideradas cruciais para impedir a evolução de resistência. O estudo tem como objetivo abordar o status da resistência, os mecanismos e fatores envolvidos e as principais estratégias para o manejo da resistência.

PALAVRAS-CHAVE: Pesticidas, Pragas agrícolas, Manejo integrado de pragas

Abstract: The first case about evolution of arthropod resistance to insecticides, was reported in 1914, with San José scale, *Quadraspidiotus perniciosus* (Hemiptera: Diaspididae) to sulfur. Cases of resistance evolution continue to expand, as do the number of species that have developed resistance to one or more pesticide groups. Current pest management tactics rely heavily on the use of insecticide and acaricide by farmers around the world and are highly valuable and effective tools for controlling major agricultural pests. Despite many insect species are still successfully controlled by these products, intensive use increases the selection pressure of resistant target pest populations. Therefore, the knowledge about the mechanisms and factors that can contribute to the evolution of insect and mite resistance to pesticides is necessary, as well as the main resistance management strategies, considered crucial to prevent the evolution of resistance. The study aims to address the status of resistance, the mechanisms and factors involved and the main resistance management strategies.

KEY-WORDS: Pesticides, Agricultural pests, Integrated pest management

¹Professor Titular, Doutor em Entomologia, DA/IF Goiano - Campus Posse, lucianonogueiraagro@gmail.com.br, Rod. GO 453, km 2,5, Fazenda Vereda do Canto, Posse-GO.

²Doutor em Entomologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus Jaboticabal, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, Jaboticabal-SP.

Recebido em novembro de 2019

Aceito em fevereiro de 2020

INTRODUÇÃO

A resistência é uma consequência de processos evolutivos básicos em uma determinada população. Em populações de insetos e ácaros alguns indivíduos podem sobreviver às aplicações iniciais de um determinado pesticida até então desenvolvido para matá-los, e essa sobrevivência pode ser devida a diferenças genéticas (NAUEN et al., 2019). A população que sobrevive a aplicações iniciais de pesticidas é composta por uma proporção cada vez maior de indivíduos capazes de resistir a molécula química e passar essa característica para os descendentes.

A grande preocupação é que em condições de campo geralmente assume-se que os sobreviventes não receberam uma dose letal do pesticida e nesse caso o usuário pode reagir aumentando a dosagem do pesticida e a frequência de aplicação, podendo resultar na eliminação dos indivíduos suscetíveis e no aumento na proporção de indivíduos resistentes (TABASHNIK et al., 2014). Na maioria dos casos, o produtor passa a utilizar um novo produto químico, geralmente com maior grau de toxicidade e custo elevado. No entanto, com o passar do tempo, a resistência a esse novo pesticida também evolui.

Nos modelos atuais de sistema de cultivo, a pressão de seleção imposta pelo uso contínuo e intensivo de pesticidas provocou um aumento nos casos de evolução de resistência de insetos e ácaros. O primeiro relato de evolução de resistência aconteceu a mais de um século, com a cochonilha de São José, *Quadraspidiotus perniciosus* (Hemiptera: Diaspididae) (MELANDER, 1914). Na década atual, mais de 3.500 casos foram relatados em insetos e mais de 150 em

ácaros de importância agrícola, com casos de evolução a um ou mais grupos de pesticidas (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2019).

Além da evolução de resistência, o uso contínuo e intensivo de pesticidas causa graves prejuízos ambientais, como a eliminação de agentes de controle biológico (parasitoides e predadores), eliminação de polinizadores, principalmente abelhas, com consequente redução na taxa de polinização, impactos a saúde pública e elevação dos custos de controle (PIMENTEL; BURGESS, 2015; BUENO et al., 2017).

Quando usado de forma intensiva os pesticidas comprometem diretamente os princípios do Manejo Integrado de Pragas – MIP, que busca promover o máximo equilíbrio no agroecossistema, por meio do monitoramento de pragas, o que reduz, ao máximo, o uso desses produtos, contribuindo diretamente para a redução dos casos de evolução de resistência. Este trabalho tem por objetivo a compreensão dos mecanismos e fatores que contribuem para a evolução de resistência, bem como as principais estratégias de manejo de resistência.

EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA EM INSETOS E ÁCAROS

Quando em contato com o inseto ou ácaro, a molécula do pesticida penetra rapidamente através do tegumento, para assim, chegar ao local de ação para exercer a sua função tóxica. O sítio de ligação pode ser uma enzima vital, tecido nervoso ou até mesmo uma proteína receptora. As moléculas do inseticida ou acaricida se ligam ao sítio de ação e quando atingem o poder letal, causam a morte da praga. Em casos de evolução de resistência, a seleção pode ocorrer em alguma etapa deste

caminho. Por exemplo, o tegumento/cutícula pode ser selecionado para uma menor permeabilidade, redução da taxa de entrada da molécula do pesticida, aumento na taxa de metabolismo do produto ou alteração no sítio de ação. O metabolismo e a insensibilidade no local da ação são considerados os mecanismos mais importantes. Quando ocorre a redução na taxa de penetração cuticular, isso favorece ambos os tipos de mecanismos de maneira sinérgica (GEORGHIU, 1994).

Nos casos em que o inseto ou ácaro desenvolve resistência a um pesticida, ele possui um determinado gene que pode permitir que seja resistente a outro pesticida de mesmo grupo químico ou similar. Neste caso, ocorre a resistência cruzada, por exemplo, insetos que se tornam resistentes a um organofosforado, tendem a ser resistentes a todos os outros organofosforados, ou podem apresentar resistência parcial a carbamatos e piretroides. Por outro lado, a resistência múltipla ocorre quando o inseto possui dois mecanismos distintos que conferem resistência a dois ou mais compostos químicos, na maioria dos casos produtos não relacionados. Por exemplo, a cutícula do inseto ou ácaro resistente pode ser mais espessa para reduzir a penetração do pesticida do que o normal e esses mesmos organismos também podem possuir enzimas especializadas para quebrar a molécula do produto que atravessa a sua cutícula (GEORGHIU, 1994). Os principais mecanismos de resistência, compreendem a resistência metabólica, a modificação no sítio de ação, a resistência cuticular e a resistência comportamental (GEORGHIU, 1994; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2012).

Resistência metabólica

Os insetos e ácaros resistentes apresentam capacidade de degradação de molécula inseticida ou acaricida mais ágil do que espécimes suscetíveis. Além de serem mais eficientes, os sistemas enzimáticos desses também podem apresentar um amplo espectro de atividade, ou seja, eles podem degradar todos os grupos de pesticidas (THOMPSON et al., 1993). A resistência metabólica é o mecanismo mais comum e muitas vezes acarreta maior desafio para o manejo de resistência.

Alteração no sítio de ação

O sítio de ação onde a molécula do inseticida ou acaricida geralmente se liga nos organismos alvos, se torna modificado para reduzir os efeitos tóxicos do pesticida. Este é o segundo mecanismo mais comum de resistência (GEORGHIU, 1994).

A alteração do sítio de ação reduz a sensibilidade à molécula do produto. Neste caso, pode ocorrer alterações nos aminoácidos responsáveis pela ligação da molécula do pesticida em seu local de ação, tornando-o menos eficaz ou até ineficaz. Por exemplo, o alvo dos organofosforados (acephate, chlorpyrifos e fenitrothion) e carbamatos (carbaryl e carbosulfan) é a enzima acetilcolinesterase, nas sinapses nervosas e o alvo dos piretroides e piretrinas (lambda-cyhalothrin, cypermethrin) são os canais de sódio no axônio (IRAC, 2019).

Resistência cuticular

Os insetos e ácaros resistentes podem absorver a molécula do pesticida mais lentamente do que os indivíduos suscetíveis, devido principalmente as barreiras desenvolvidas no exoesqueleto, que impedem ou retardam a absorção da

molécula (ROUSH; TABASHNIK, 1990). De maneira simplificada, quanto mais espessa a cutícula (maior teor de proteína e lipídios), menor será a absorção da molécula inseticida. Essa barreira desenvolvida pode proteger os insetos ou ácaros de uma ampla gama de pesticidas. A resistência cuticular está frequentemente presente junto com outras formas de resistência e a redução na penetração cuticular acelera o processo de evolução dos outros mecanismos (GEORGHIOU, 1994).

Resistência comportamental

Neste mecanismo de resistência os insetos e ácaros podem desenvolver modificação em seu comportamento para evitar o efeito letal da molécula pesticida. As principais modificações associadas ao comportamento dos insetos e ácaros estão relacionadas a mudanças no comportamento de alimentação e escape de área pulverizada, por exemplo, eles podem passar para a face inferior de uma folha pulverizada ou mover-se para outra parte da planta ou abandonar a área pulverizada com o pesticida.

FATORES ENVOLVIDOS NA EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA

A resistência em insetos e ácaros é o resultado de um processo evolutivo, em que os indivíduos “pré-adaptados” de determinada população tem a capacidade de tolerar doses do pesticida que seriam letais para a maior parte dos indivíduos da população. Os principais fatores envolvidos neste processo são os associados à genética da praga-alvo, os associados à bioecologia das pragas e os operacionais, aqueles relacionados a estratégia de manejo (controle químico) a ser implementada (GEORGHIOU;

TAYLOR, 1986). De todos os fatores que influenciam no desenvolvimento da resistência, apenas os fatores operacionais podem ser manipulados pelo homem.

As características genéticas da praga-alvo estão associadas a frequência inicial de alelos de resistência, a dominância da resistência, e ao custo adaptativo associado. Esses dois fatores são intrínsecos a praga, e logo, não podem ser manipulados.

A frequência inicial de indivíduos portadores de genes de resistência é essencial para a compreensão do processo de evolução da resistência. Em uma determinada população os indivíduos com alelos homozigotos resistentes podem ocorrer naturalmente, mas, são reduzidos em número. Em contrapartida, os indivíduos heterozigotos são os principais portadores dos alelos responsáveis por conferir a resistência, principalmente no início do processo de evolução.

Nos casos em que houver aumento da sobrevivência de indivíduos com alelos de resistência na população de uma praga, isso pode resultar em perda de eficácia de controle de determinado pesticida, que antes apresentava eficiência no manejo da praga. Além disso, alta sobrevivência destes indivíduos aumenta o potencial de risco, torna a resistência dominante e promove falhas no manejo da praga. Nos casos em que houver uma alta mortalidade destes indivíduos a resistência é recessiva, tornando efetiva a tática de manejo.

Para o planejamento e direcionamento de estratégias de manejo da resistência torna-se necessário o conhecimento dos aspectos bioecológicos de insetos e ácaros. As variáveis associadas a biologia da praga, como a taxa de reprodução, o número de gerações e a capacidade de movimentação/dispersão,

migração e hábito de alimentação (monófago e polífago) podem alterar drasticamente o processo de seleção que leva à evolução da resistência. Por exemplo, quanto maior o número de gerações por ano, mais rápida pode ser a evolução de resistência. A traça das crucíferas, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), devido ao seu alto potencial biótico e ciclo de vida curto, tem até 20 gerações por ano (FURLONG et al., 2013). As características biológicas de *P. xylostella*, aliadas a alta pressão de seleção, imposta pelo uso intensivo de inseticidas, resultaram em mais de 870 casos de resistência reportados em todo o mundo, tanto a inseticidas químicos, quanto a bioinseticidas (MOTA-SANCHEZ; WISE, 2019).

Os fatores ecológicos, como a movimentação e o uso de refúgios (áreas não tratadas), podem ser explorados para reduzir a evolução da resistência. Os fatores operacionais são aqueles relacionados ao uso e natureza química do pesticida (dose, formulação, grupo químico, mecanismo de ação, seletividade e persistência no ambiente) além daqueles relacionados a sua aplicação em campo (colocação do produto e equipamento de aplicação). Os principais aspectos que influenciam na evolução de resistência estão relacionados à dose, modo de ação e ao momento de aplicação do pesticida. Logo, a observância destes fatores é ponto chave para determinar como a manipulação somado às características genéticas e biológicas da população podem retardar a evolução da resistência.

A dose do inseticida e acaricida influencia diretamente na mortalidade dos indivíduos heterozigotos e pode impactar na seleção de indivíduos resistentes. Conforme discutido anteriormente a

mortalidade dos indivíduos heterozigotos é essencial para minimizar a evolução da resistência. O uso de altas doses pode acarretar elevada mortalidade de agentes de controle biológico e organismos não-alvo, contrariando os princípios do MIP, além de colocar em risco a saúde humana pela possibilidade de elevação do nível de resíduos químicos nos alimentos e produtos. Ademais, a utilização de altas doses de um pesticida, para o manejo da resistência à inseticidas e acaricidas não é recomendada, uma vez que o aumento da dose, pode resultar em alto custo de controle e intensificar o processo de evolução de resistência.

MANEJO DA RESISTÊNCIA

As estratégias para o manejo da resistência a inseticidas podem ser divididas em três grupos principais: manejo por moderação, manejo por saturação e manejo por ataque múltiplo (TABASHNIK, 1989; GEORGHIOU, 1994). O manejo por moderação consiste na implementação de táticas que resultem em baixa pressão de seleção de insetos e ácaros e conservação de indivíduos suscetíveis, ou seja, manejo com utilização reduzida de pesticidas. Como por exemplo, variedades resistentes, sincronismo da época de plantio, rotação de culturas, uso de áreas de refúgio e intensificação no uso do controle biológico (macro e microbiológicos). Nesta estratégia de manejo, considera-se que os genes de suscetibilidade são recursos valiosos, o que exige a utilização de táticas que limite a pressão de seleção. Em casos onde a aplicação de pesticidas seja necessária, deve-se optar: por produtos seletivos a inimigos naturais e que sejam menos persistentes, por aplicação do produto na fase de maior suscetibilidade da praga, pela

aplicação localizadas de produtos (reboleiras) e implementação e preservação de refúgios (GEORGHIOU, 1994).

A estratégia por saturação preconiza reduzir o custo adaptativo dos indivíduos resistentes por meio do uso de altas doses do produto, desta forma, ocorre a saturação de mecanismos de defesa, aumentando a ação de inseticidas e acaricidas, tornando os genes de resistência funcionalmente recessivos através de doses mais altas ou suprimindo enzimas de detoxificação através do uso de sinergistas que podem inibir enzimas específicas (DENHOLM; ROWLAND, 1992). O manejo por saturação propõe uma abordagem enérgica, eliminando a vantagem presumivelmente seletiva da resistência.

O manejo por ataque múltiplo consiste na utilização de dois ou mais inseticidas em rotação ou em mistura com modos de ação distintos, e que não possuam resistência cruzada. Nesta estratégia a escolha de grupos de inseticidas e acaricidas adequados é de extrema importância para o manejo da resistência. Para verificar o modo de ação dos principais grupos de inseticidas e acaricidas, consultar: irac-br.org.

A rotação de pesticidas quando bem executada, explora o fato de que o custo adaptativo dos indivíduos resistentes a um determinado produto pode ser no mínimo igual ao dos indivíduos suscetíveis na presença de um produto alternativo. É de se esperar que ao longo das gerações de determinada praga, com aplicações de pesticidas em rotação e com ausência de resistência cruzada, a frequência de resistência na população da espécie, seja drasticamente reduzida.

CONCLUSÕES

Os desafios da resistência à inseticidas e ácaros têm aumentado de maneira global. A intensidade da seleção (por exemplo, número de aplicações de inseticidas e acaricidas) é fator preponderante para determinar a rapidez com que a resistência evolui. Além disso, o domínio genético da resistência, o potencial de dispersão dos indivíduos dentro de uma área de cultivo, e os custos adaptativos podem influenciar severamente a taxa de evolução da resistência. Quanto maior o domínio da resistência, mais rápida esta ocorre. No âmbito do manejo de resistência fica nítido que mudar para novos inseticidas, sobretudo novas moléculas, quando a atual não é mais eficaz, não é a estratégia mais apropriada. É necessário a conscientização para a implementação e uso do MIP, somente, com a integração das diversas táticas de manejo disponíveis (biológico, resistência de plantas, comportamental, cultural, plantas geneticamente modificadas (Plantas GM)) é possível obter sucesso no manejo da resistência de insetos e ácaros. O manejo de resistência, atualmente é uma das problemáticas mais desafiadoras da entomologia aplicada, por isso, não é uma opção, seu entendimento tornou-se obrigatório.

REFERÊNCIAS

- BUENO, A. D. F.; CARVALHO, G. A.; SANTOS, A. C. D.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; SILVA, D. M. D. Pesticide selectivity to natural enemies: challenges and constraints for research and field recommendation. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 6, e20160829, 2017.
- IRAC - COMITÊ DE AÇÃO DE RESISTÊNCIA A INSETICIDAS -

- Brasil. Modo de ação de inseticidas e acaricidas. 2019. Disponível em: <https://www.irac-br.org/modo-de-ao-de-inseticidas-e-acaricidas>. Acesso em: 22 de novembro 2019.
- DENHOLM, I.; ROWLAND, M.W. 1992. Tactics for managing pesticide resistance in arthropods: Theory and practice. **Annual Review Entomology**, Palo Alto, v. 37, n. 1, p. 91-112. 1992.
- FURLONG, M. J.; WRIGHT, D. J.; DOSDALL, L. M. Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 58, n. 1, p. 517-541, 2013.
- GEORGHIU, G. P. Principles of insecticide resistance management. **Phytoprotection**, Quebec, v. 75, n. 4, p. 51-59, 1994.
- GEORGHIU, G. P.; TAYLOR, C. E. Factors influencing the evolution of resistance. In: GLASS E. H. (ed). **Pesticide résistance: strategies and tactics for management**. National Academic Science, Washington, 1986. p. 157-169.
- MELANDER, A. L. Can insects become resistant to sprays? **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 7, n. 2, p. 167-173, 1914.
- MOTA-SANCHEZ, D.; WISE, J. C. The Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University. Disponível em: <https://www.pesticideresistance.org>. Acesso em: 08 de novembro de 2019.
- NAUEN, R.; SLATER, R.; SPARKS, T. C.; ELBERT, A.; MCCAFFERY, A. IRAC: Insecticide Resistance and Mode-of-action classification of insecticides. In: JESCHKE, P. et al. (eds). **Modern Crop Protection Compounds**. 3^o ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim, 2019. p. 995-1012.
- PIMENTEL D.; BURGESS M. Environmental and Economic Costs of the Application of Pesticides Primarily in the United States. In: PIMENTEL D.; PESHIN R. (eds) **Integrated Pest Management**. Springer, Dordrecht, 2014. p. 47-71.
- ROUSH, R. T.; TABASHNIK, B. E. (eds). Pesticide résistance in arthropods. Chapman and Hall, New York, 1990. 303 p.
- TABASHNIK, B. E. Managing résistance with multiple pesticide tactics: theory, evidence and recommendations. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v.82, n. 5, p. 1263-1269. 1989.
- TABASHNIK, B. E.; MOTA-SANCHEZ, D.; WHALON, M. E.; HOLLINGWORTH, R. M.; CARRIÈRE, Y. Defining terms for proactive management of resistance to Bt crops and pesticides. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 107, n. 2, p. 496-507. 2014.
- THOMPSON, M.; STEICHEN J. C.; FFRENCH-CONSTANT, R. H. Conservation of cyclodiene insecticide resistance-associated mutations in insects. **Insect Molecular Biology**, Oxford, v. 1, n. 3, p. 49-154. 1993.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2012. Global Plan for Insecticide Resistance Management in Malaria Vectors. Vector Control Unit, Global Malaria Programme, World Health Organization. Disponível em: <https://apps.who.int/>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.