

# MANEJO DA RESISTÊNCIA DE PRAGAS A INSETICIDAS

C. OMOTO<sup>1</sup>; M.D.M. RISCO<sup>2</sup> & J.B. SCHMIDT<sup>2</sup>

## INTRODUÇÃO

A evolução da resistência de pragas a pesticidas tem se tornado um dos grandes entraves em programas de controle de pragas envolvendo o uso de produtos químicos. O primeiro caso de resistência de uma praga a um pesticida foi documentada em piolho-de-São José *Quadraspidiotus perniciosus* resistente ao enxofre nos Estados Unidos em 1908. Os casos reportados de resistência se intensificaram com a introdução dos inseticidas organo-sintéticos ao redor de 1940. Mais de 500 espécies de insetos e ácaros resistentes a pelo menos uma classe de composto químico já foram documentadas até o início da década de 90 (GEORGHIOU & LAGUNES-TEJEDA, 1991). A resistência já foi detectada para praticamente todos os grupos de pesticidas, incluindo DDT, ciclodienos, organofosforados, carbamatos, piretróides etc. O problema tem sido relatado inclusive para os produtos mais recentes do grupo dos reguladores de crescimento de insetos e de origem microbiana como *Bacillus thuringiensis* e *Baculovirus anticarsia*.

Dentre as conseqüências drásticas da evolução da resistência estão a aplicação mais freqüente de pesticidas; aumento na dosagem do produto; uso de misturas indevidas de produtos e substituição por um outro produto, geralmente de maior toxicidade (Georghiou, 1983). Esses fatores comprometem os programas de manejo integrado de pragas (MIP) em vista da maior contaminação do meio ambiente com pesticidas, destruição de organismos benéficos, e elevação nos custos de controle da praga. Sabe-se também que a descoberta e o desenvolvimento de uma nova molécula química estão se tornando cada vez mais difíceis e caros. Sendo assim, o manejo da resistência de artrópodes a produtos químicos tem se tornado um importante componente do MIP e vice-versa (GEORGHIOU, 1983; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1986; SAWICKI, 1987; CROFT, 1990; DENHOLM & ROLLAND, 1992).

## DEFINIÇÃO DE RESISTÊNCIA

A resistência é o desenvolvimento de uma habilidade em uma linhagem de um organismo em tolerar doses de tóxicos que seriam letais para a maioria da população normal (susceptível) da mesma espécie. A resistência é uma característica hereditária, e um termo que se aplica intra-especificamente. O processo determinante no desenvolvimento da resistência é a pressão contínua de seleção, ou seja, o uso freqüente de um determinado pesticida. Trata-se de um caso de típico de evolução Darwiniana; ou seja, a aplicação constante de um mesmo produto químico aumenta a frequência relativa de alguns indivíduos "pré-adaptados" presentes em uma população.

No início da evolução da resistência, estima-se que a frequência de alelos que conferem a resistência numa população é bastante baixa (de  $10^{-2}$  a  $10^{-13}$ ) (ROUSH & MCKENZIE, 1987). Com o uso contínuo de um mesmo produto, a frequência de resistência poderá alcançar níveis em que a eficácia do produto é comprometida devido à resistência.

A resistência em um determinado organismo pode ser manifestada para dois ou mais compostos químicos distintos através da resistência cruzada ou resistência múltipla. A **resistência cruzada** refere-se aos casos em que um único mecanismo de resistência confere resistência a dois ou mais compostos químicos (produtos estes geralmente relacionados; por ex., deltametrina e permetrina que são produtos do grupo dos piretróides). Já a **resistência múltipla** ocorre quando pelo menos dois diferentes mecanismos de resistência coexistentes conferem resistência a dois ou mais compostos químicos (produtos estes geralmente não relacionados).

---

<sup>1</sup> Professor Doutor do Departamento de Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola da ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11. CEP 13418-900 Piracicaba-SP. E-mail: [celomoto@esalq.usp.br](mailto:celomoto@esalq.usp.br)

<sup>2</sup> Estagiários do Laboratório de Resistência de Artrópodes a Pesticidas da ESALQ/USP.

## **MECANISMOS DE RESISTÊNCIA**

Os principais mecanismos pelos quais os insetos podem expressar a resistência são a redução na penetração cuticular do produto, aumento na destoxificação metabólica e redução na sensibilidade do sítio de ação. Outros mecanismos pelo qual os artrópodos podem expressar a resistência são: sequestro do produto em alguns tecidos do organismo, aumento na excreção ou por comportamento (por ex.: repelência).

Os indivíduos resistentes devido à redução na penetração cuticular recebem uma menor quantidade de tóxico no sítio de ação do produto. Geralmente confere baixa intensidade de resistência (de 2 a 4 vezes). Potencialmente pode conferir resistência para todas as classes de pesticidas. Em alguns casos, a resistência pode ser vencida com o uso de um adjuvante apropriado (por ex.: óleo ou surfactante).

Os indivíduos resistentes através do aumento na destoxificação metabólica do pesticida são capazes de degradar a molécula química em compostos inertes com maior eficácia do que os indivíduos suscetíveis. Vários grupos enzimáticos estão envolvidos no metabolismo de pesticidas e tem sido identificado como mecanismo de resistência em várias espécies de artrópodes como as monooxigenases dependentes do citocromo P-450, esterases, GSH-transferase etc. Potencialmente todas as classes de pesticidas podem ser afetadas através desse mecanismo. A resistência cruzada é limitada para compostos "estruturalmente semelhantes". O uso de sinergistas pode ser útil para vencer este mecanismo de resistência em alguns casos; como por exemplo, o butóxido de piperonila para bloquear a ação de enzimas oxidativas mediadas pelo citocromo P-450. Já os resistentes devido à redução na sensibilidade do sítio de ação apresentam uma alteração do mesmo, mostrando-se menos sensíveis ao produto químico. Por exemplo, os indivíduos resistentes a um determinado piretróide pelo mecanismo de redução na sensibilidade do sítio de ação, apresentam os canais de sódio alterados, pois os produtos desse grupo atuam como moduladores desses canais localizados no axônio da célula nervosa.

## **FATORES QUE AFETAM A EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA**

Os principais fatores que afetam a evolução da resistência de artrópodes a pesticidas têm sido agrupados em: genéticos, bioecológicos e operacionais (Tabela 1).

Desses fatores, os genéticos e bioecológicos são de difícil manipulação para o manejo da resistência, porém de grande importância na avaliação de potencial de risco da resistência. Sendo assim, apenas os fatores operacionais podem ser manipulados pelo homem na implementação de estratégias de manejo da resistência. Uma característica da resistência é que os indivíduos resistentes apresentam um custo adaptativo pelo menos no início da evolução da resistência; ou seja, os resistentes são menos aptos que os suscetíveis quando o produto químico não é utilizado. Este menor valor adaptativo dos indivíduos resistentes pode estar associado a uma menor viabilidade total, menor fecundidade, maior tempo para o desenvolvimento, menor competitividade para o acasalamento, maior suscetibilidade aos inimigos naturais etc. (GEORGHIU, 1972; ROUSH & MCKENZIE, 1987). Sendo assim, o restabelecimento da suscetibilidade pode ser observado em situações em que um determinado produto não é utilizado por um certo intervalo de tempo. A imigração de indivíduos suscetíveis de áreas não-tratadas para as tratadas pode contribuir na diluição da resistência. A rapidez com que este restabelecimento se processa depende de vários fatores, dentre estes, a espécie de inseto ou ácaro, o produto químico, o mecanismo de resistência, e o ecossistema. A instabilidade da resistência tem sido explorada em estratégias de manejo da resistência através da rotação de produtos, por exemplo.

## **ESTRATÉGIAS DE MANEJO DA RESISTÊNCIA**

Os programas de manejo da resistência são mais efetivos quando implementados de modo preventivo, ou seja, no início da evolução da resistência. Infelizmente, a maioria das pesquisas nesta área são iniciadas somente após a constatação de falhas no controle de uma praga com o uso de um determinado produto químico (GEORGHIU, 1983; ROUSH & DALY 1990). Sem dúvida, os fracassos no controle podem estar associados à calibragem deficiente dos equipamentos de pulverização ou aplicação em alta densidade populacional da praga. Outros fatores que podem comprometer a eficácia de pesticidas incluem as aplicações em condições meteorológicas desfavoráveis, formulação inadequada, dosagem incorreta, pH da calda de aplicação, efeito sobre os organismos benéficos, e evolução da resistência de pragas a pesticidas. Para comprovar se a resistência é um dos fatores influentes no desempenho de um produto no controle de uma determinada praga, há necessidade de se realizar estudos laboratoriais para avaliar a suscetibilidade de populações da praga ao produto em questão.

É indiscutível a grande habilidade com que os insetos e ácaros se adaptam a diferentes agentes de controle. Sendo assim é importante definir como um determinado produto deve ser utilizado para que a resistência não se torne um problema. O manejo da resistência envolve um esforço interdisciplinar com o objetivo de prevenir, retardar ou reverter a evolução da resistência em pragas e promovê-la em inimigos naturais.

GEORGHIU (1983) divide as estratégias de manejo da resistência em 3 grupos, ou seja, manejo por moderação, manejo por saturação e manejo por ataque múltiplo (Tabela 2).

O princípio básico no manejo por moderação está na redução da pressão de seleção para preservar os indivíduos susceptíveis em uma determinada população. Algumas recomendações dentro desta estratégia incluem a aplicação menos freqüente de pesticidas, controle em reboleiras (quando viável), manutenção de áreas não tratadas para servir de refúgio aos indivíduos susceptíveis e aplicação do produto no estágio mais vulnerável da praga.

O manejo por saturação tem por objetivo reduzir o valor adaptativo dos indivíduos resistentes através do uso de sinergistas ou de altas dosagens do produto. Certos sinergistas podem bloquear a resistência metabólica; o butóxido de piperonila, por exemplo, bloqueia a ação de enzimas oxidativas dependentes do citocromo P-450.

E por último, o manejo por ataque múltiplo envolve a utilização de dois ou mais produtos em rotação ou mistura. O princípio da rotação de produtos é baseado no fato de que a freqüência de resistência a um produto (A) diminui quando produtos alternativos (por ex. B e C) são utilizados (GEORGHIU, 1983; TABASHNIK, 1989; ROUSH, 1989). Sendo assim, para o sucesso da rotação há a necessidade de assumir que existe custo adaptativo dos indivíduos resistentes na ausência da pressão de seleção e que não existe resistência cruzada entre os componentes da rotação. O princípio da mistura de dois produtos (A e B) se baseia no fato que os indivíduos resistentes ao produto A serão controlados pelo produto B e vice-versa. Porém existe a possibilidade de se encontrarem indivíduos resistentes ao produto A e B através da resistência múltipla. Dentre as várias condições para o sucesso da mistura estão: baixa freqüência de resistência, ausência de resistência cruzada e persistência biológica semelhante para os dois compostos

O grande desafio está na implementação destas estratégias em diversos ecossistemas. As dificuldades na implementação de estratégias de manejo da resistência envolvem: (a) necessidade de um esforço conjunto entre agricultores, indústrias químicas e pesquisadores, (b) realização de experimentos em larga escala e por um período prolongado, (c) alta mobilidade de algumas espécies de praga, necessitando assim de uma cooperação a nível regional, e (d) regulamentação de uso de pesticidas (ROUSH, 1989; CROFT, 1990; DENHOLM & ROLLAND, 1992; DENNEHY & OMOTO, 1994).

Avanços recentes na área de manejo da resistência de pragas a pesticidas no Brasil estão ligados com a formação de pesquisadores especializados em diversas instituições de pesquisa e ensino (EMBRAPA, Instituto Biológico, IAC, ESALQ, UFV e outros) e a formação de um Comitê Brasileiro de Ação a Resistência a Inseticidas (IRAC-BR) em 1997. Esse comitê é composto por representantes de várias indústrias químicas e tem por objetivo manter todas as classes de inseticidas e acaricidas como viáveis opções de controle, através de um programa de parceria com instituições de pesquisas, extensionistas e produtores para o uso de pesticidas de maneira sustentável.

## BIBLIOGRAFIA

- CROFT, B. A. Management of pesticide resistance in arthropod pests. In: GREEN, M. B., MOBERG, W. K. & LEBARON, H. (eds.), **Managing resistance to agrochemicals: fundamental and practical approaches to combating resistance**. American Chemical Society, Washington, DC, 1990, p. 149-168.
- DENHOLM, I. & ROLLAND, M. W. Tactics for managing pesticide resistance in arthropods: theory and practice. **Ann. Rev. Entomol.** 37: 92-112, 1992
- DENNEHY, T. J. & OMOTO, C. 1994. Sustaining the efficacy of dicofol against citrus rust mite (*Phyllocoptruta oleivora*): a case-history of industrial and academic collaboration. In: **Brighton Crop Protection Conference-Pests and Diseases**, Farnham, Surrey, England, p. 955-962, 1994.
- GEORGHIU, G. P. The evolution of resistance to pesticides. **Ann. Rev. Ecol. Syst.** 3: 133-168, 1972.
- GEORGHIU, G. P. Management of resistance in arthropods. In: GEORGHIU, G. P. & SAITO, T. (eds.), **Pest resistance to pesticides**. Plenum, New York, 1983, p. 769-792.

- GEORGHIOU, G. P. & LAGUNES-TEJEDA, A. **The occurrence of resistance to pesticides in arthropods.** FAO, Roma, 1991. 318p.
- GEORGHIOU, G.P. & TAYLOR, C.E. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. **J. Econ. Entomol.** 70: 319-323. 1977a.
- GEORGHIOU, G.P. & TAYLOR, C.E. Operational influences in the evolution of insecticide resistance. **J. Econ. Entomol.** 70: 653-658, 1977b.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Pesticide resistance: strategies and tactics for management.** National Academy of Sciences, Washington. DC, 1986. 471p.
- ROUSH, R. T & DALY, J. C. The role of population genetics in resistance research and management. In: ROUSH, R. T. & TABASHNIK, B. E. (eds.), **Pesticide resistance in arthropods.** Chapman and Hall, New York, 1990, p. 97-152.
- ROUSH, R. T & MCKENZIE, J. A. Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. **Ann. Rev. Entomol.** 32: 361-380, 1987.
- ROUSH, R. T. Designing resistance management programs: how can you choose? **Pestic. Sci.** 26: 423-441, 1989.
- SAWICKI, R. Definition, detection and documentation of insecticide resistance. In: FORD, M. G., HOLLOMAN, D. W., KHAMBAY, B. P. S. & SAWICKI, R. M. (eds.), **Combating resistance to xenobiotics.** Ellis Horwood, Chichester, England, 1987, p. 105-107.
- TABASHNIK, B. E. Managing resistance with multiple pesticide tactics: theory, evidence and recommendations. **J. Econ. Entomol.** 82: 1263-1269, 1989.

Tabela 1. Fatores que afetam a evolução da resistência de artrópodes a pesticidas (adaptado de GEORGHIOU & TAYLOR, 1977a,b).

---

**A. Fatores Genéticos**

- Número de alelos resistentes
- Frequência e intensidade da resistência
- Dominância dos alelos resistentes
- Aptidão relativa dos indivíduos resistentes

**B. Fatores Bioecológicos**

- Número de gerações por ano
- Taxa de reprodução
- Modo de reprodução
- Mobilidade da espécie
- Hábito alimentar da espécie
- Presença de refúgio para a população susceptível
- Presença de inimigos naturais efetivos da praga

**C. Fatores Operacionais**

1. Característica do composto químico
    - Grupo químico
    - Persistência
    - Seletividade
    - Formulação
  2. Características da aplicação
    - Nível de controle
    - Método de aplicação
    - Estratégia para o uso de produtos químicos
- 

Tabela 2. Estratégias químicas para o manejo da resistência (adaptado de GEORGHIOU, 1983).

---

**A. Manejo por Moderação**

- Uso de doses reduzidas do defensivo químico (quando apropriado)
- Uso menos frequente de produtos químicos
- Uso de produtos químicos de baixa persistência
- Controle em reboleiras (quando viável)
- Manutenção de áreas não tratadas para refúgio de indivíduos susceptíveis da praga (quando viável)
- Aplicação do produto nos estágios mais sensíveis da praga
- Recomendação de níveis de controle mais elevados (quando apropriado)

**B. Manejo por Saturação**

- Uso de dosagens elevadas para que a resistência seja "funcionalmente" recessiva
- Uso de compostos sinérgicos para bloquear certos processos metabólicos

**C. Manejo por Ataque Múltiplo**

- Rotação de produtos químicos
  - Mistura de produtos químicos
-