

# BACTÉRIAS ENTOMOPATOGÊNICAS

---

*Ricardo Antonio Polanczyk*

*Lidia Mariana Fiuza*

*Sergio Antonio De Bortoli*

O controle microbiano é uma importante alternativa ao uso incorreto e abusivo dos agrotóxicos no controle de pragas agrícolas. Entre as bactérias entomopatogênicas, destaca-se *Bacillus thuringiensis* (Bt) como a mais promissora, devido a sua alta atividade inseticida contra ampla gama de espécies-praga, especialmente lepidópteros e coleópteros. Além da sua utilização como bioinseticida há cerca de 40 anos, mais recentemente, plantas transformadas expressando genes desta bactéria começaram a ser utilizadas como forma de controlar pragas agrícolas. Enquanto o uso de bioinseticidas à base de Bt avança em ritmo lento, o uso de plantas Bt cresce em escala exponencial, podendo ser citado como o principal exemplo de sucesso comercial do controle microbiano de pragas.

## Introdução

O aumento da produção agrícola brasileira para atender à crescente demanda por alimentos, exportação de grãos e seus subprodutos têm impactos diretos sobre o agroecossistema. Tais impactos estão ligados ao uso intenso de insumos visando diminuir as perdas causadas por fatores bióticos e abióticos, durante o processo produtivo. Os agrotóxicos, apesar da importância no controle de pragas, são frequentemente utilizados em grandes quantidades, sem orientação técnica, causando uma série de problemas ao ambiente, aos agricultores e consumidores. Devido a estes fatores, a busca por alternativas que possam minimizar ou até mesmo substituir os inseticidas convencionais foi intensificada e, atualmente, as novas táticas abrangem uma série de alternativas: plantas resistentes, inseticidas seletivos, parasitoides, predadores e microrganismos entomopatogênicos.

A microflora bacteriana dos insetos, confinada no intestino, é rica, diversa e compreende bactérias Gram positivas e negativas. Muitas delas auxiliam na digestão dos alimentos, porém algumas são patogênicas e recebem grande atenção dos pesquisadores devido ao seu magnífico potencial para o controle de pragas agrícolas e urbanas.<sup>1</sup>

Atualmente são conhecidas inúmeras espécies de bactérias associadas a insetos, embora poucas apresentam as características desejáveis à aplicação no controle biológico de pragas. Na classificação das entomopatogênicas, os critérios de Falcon<sup>2</sup> são os mais viáveis por agrupar as bactérias em apenas duas categorias: esporulantes e não-esporulantes. Entre essas categorias destacam-se, com maior importância à patologia de insetos, as espécies das famílias *Bacillaceae* e *Enterobacteriaceae*. As bactérias esporulantes apresentam uma característica de persistência, podendo manter-se em condições ambientais adversas através de estruturas de resistência denominadas endósporos. Tal característica dessa categoria de bactérias vem sendo considerada um pré-requisito à produção de agentes microbianos em escala comercial. Entre as bactérias entomopatogênicas potencialmente aplicadas no controle microbiano de insetos, destacam-se as espécies que apresentam alta virulência, elevada capacidade invasora e produção de toxinas, podendo causar toxemias nos insetos-alvo. Com essas características, na categoria de bactérias esporulantes, destacam-se os gêneros *Bacillus* e *Clostridium*.<sup>3</sup>

No gênero *Bacillus*, destaca-se *Bacillus thuringiensis* (Bt) Berliner, 1915, pela sua ampla utilização no combate

<sup>1</sup> PRIEST, F. G. Biodiversity of the entomopathogenic, endospore-forming bacteria. In: CHARLES, J. F.; DELÉCLUSE, A. & NIELSEN-LE ROUX, C. (Eds.). *Entomopathogenic bacteria: from laboratory to field application*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 1-22.

<sup>2</sup> FALCON, L. A. Use of bacteria for microbial control. In: BURGESS, N. & HUSSEY, W. (Ed.). *Microbial control of insects and mites*. New York: Academic Press, 1971. p. 67-95.

<sup>3</sup> COSTA, E. L. N.; LUCHO, A. P. R. & FRITZ, L. L. *et al.* Artrópodes e Bactérias Entomopatogênicas. *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, v. 38, p. 4-13, 2009.

- <sup>4</sup> BERLITZ, D. L.; PINTO, L. M. N.; CASTILHOS-FORTES, R. *et al.* Toxinas de *Bacillus thuringiensis*. *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, v. 38, p. 24-31, 2009.
- BRAVO, A.; LIKITVIVATANAVONG, S.; GILL, S. S. & SOBERON, M. *Bacillus thuringiensis*: a story of a successful bioinsecticide. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, v. 41, p. 423-431, 2011.
- JAMES, C. *Situação global das lavouras GM comercializadas*: 2010. ISAAA Brief No. 42. New York: ISAAA, 2010. 30 p.
- <sup>5</sup> COSTA, E. L. N.; LUCHO, A. P. R.; FRITZ, L. L. *et al.* *Op. cit.*
- <sup>6</sup> AZAMBUJA, A. O.; ALLES, G. C.; FRITZ, L. L. *et al.* Ecologia de *Bacillus* entomopatogênicos. *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, v. 38, p. 14-23, 2009.
- BIZZARRI, M. F. & BISHOP, A. H. Recovery of *Bacillus thuringiensis* in vegetative form from phylloplane of clover (*Trifolium hybridum*) during a growing season. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 94, p. 38-47, 2007.
- BRAVO, A.; SARABIA, S.; LOPEZ, L. *et al.* Characterization of cry genes in mexican *Bacillus thuringiensis* strain collection. *Applied and Environmental Microbiology*, p. 4.965-4.972, 1998.
- FORSYTH, G. & LOGAN, N. A. Isolation of *Bacillus thuringiensis* from Northern Victoria Land, Antarctica. *Letters in Applied Microbiology*, v. 30, p. 263-266, 2000.
- GLARE, T. R. & O'CALLAGHAM, M. *Bacillus thuringiensis: biology, ecology and safety*. Chichester: John Wiley & Sons, 2000.
- HERNÁNDEZ, C. S.; ANDREW, R.; BEL, Y. *et al.* Isolation and toxicity of *Bacillus thuringiensis* from potato-growing areas in Bolivia. *Journal of Invertebrate*

dos insetos-praga, especialmente lepidópteros e coleópteros, seja na forma de bioinseticida ou como plantas transformadas expressando suas toxinas.<sup>4</sup> O gênero *Clostridium* compreende cerca de 100 espécies distribuídas em 19 grupos de acordo com a homologia de ARN16s. As células têm forma de bastonetes, geralmente Gram-positivas, com endósporos ovais ou esféricos que as deformam. As espécies desse gênero são estritamente anaeróbias, havendo algumas que toleram a presença de oxigênio livre, porém não formam esporos. Essas bactérias são encontradas naturalmente no solo, sedimentos marinhos, restos animais e vegetais, assim como na flora intestinal de vertebrados e invertebrados, como os insetos.

Os efeitos entomopatogênicos de *Clostridium brevisfasciens* e *Clostridium malacosomae* foram observados em larvas de *Malacosoma pluviale* (Lepidoptera: Lasiocampidae), ocorrendo a germinação dos esporos na luz intestinal e o rápido crescimento vegetativo, o que causa a morte em poucos dias, sem haver invasão na cavidade do corpo do inseto. Alguns autores citam que *Clostridium bifermentans malaysia* sintetiza uma proteína tóxica às larvas dos dípteros culicídeos *Aedes aegypti*, *Culex pipiens* e *Anopheles stephensi* que apresenta elevada similaridade às  $\delta$ -endotoxinas sintetizadas por Bt.<sup>5</sup>

Isolados de Bt são obtidos a partir de amostras de solos, rios, superfícies de plantas, restos vegetais, insetos e pequenos mamíferos mortos, teias de aranha, grãos armazenados e locais inabitados.<sup>6</sup> A atividade entomopatogênica desta bactéria se deve à presença de inclusões protéicas cristalinas (cristais), produzidas durante a esporulação.<sup>7</sup> O modo de ação de Bt é motivo de debate entre pesquisadores, mesmo 40 anos após o início de sua utilização comercial.<sup>8</sup>

O Bt foi descrito em 1901, no Japão, pelo bacteriologista Ishiwata, que verificou sua patogenicidade para lagartas do bicho-da-seda, *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae). Um microbiologista alemão redescreveu a mesma bactéria, isolada de larvas mortas de *Anagasta kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae), a traça da farinha, praga de grãos armazenados e a denominou *Bacillus thuringiensis*, em homenagem a Thuringia, cidade alemã onde foram coletadas as lagartas. Em 1915, este mesmo autor notou presença de inclusões parasporais nas células de Bt e, em 1953, Hannay sugeriu a associação entre a patogenicidade da bactéria e presença das inclusões cristalinas (cristais) formadas nas células durante a esporulação. Em 1968, Angus demonstrou que a hipótese de Hannay era válida.<sup>9</sup>

- Pathology*, v. 94, p. 56-63, 2007.
- KONECKA, E.; KAZNOWSKI, A. & ZIEMNICKA, J. Molecular and phenotypic characterisation of *Bacillus thuringiensis* isolated during epizootics in *Cydia pomonella* L. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 94, p. 56-63, 2007.
- SWIECICKA, I.; FIEDORUK, K. & BEDNARZ, G. The occurrence and properties of *Bacillus thuringiensis* isolated from free-living animals. *Letters in Applied Microbiology*, v. 34, p. 194-198, 2002.
- THAMMASITTIRONG, A. & ATTATHOM, T. PCR-based method for the detection of *cry* genes in local isolates of *Bacillus thuringiensis* from Thailand. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 98, n. 2, p. 121-126, 2008.
- <sup>7</sup> GLARE, T. R. & O'CALLAGHAM, M. *Op. cit.*
- BRAVO, A.; GILL, S. S. & SOBERÓN, M. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon*, v. 49, p. 423-435, 2007.
- <sup>8</sup> BRODERICK, N. A.; ROBINSON, C. J.; McMAHON, M. D. *et al.* Contributions of gut bacteria to *Bacillus thuringiensis*-induced mortality vary across a range of Lepidoptera. *BMC Biology*, v. 7, 2009. doi: 10.1186/1741-7007-7-11.
- JOHNSTON, P. R. & CRICKMORE, N. Gut bacteria are not required for the insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* toward the tobacco hornworm *Manduca sexta*. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 75, n. 15, p. 5.094-5.099, 2009.
- RAYMOND, B.; JOHNSTON, P. R.; WRIGHT, D. J. *et al.* *Environmental Microbiology*, v. 11, n. 10, p. 2.556-2.563, 2009.
- <sup>9</sup> GLARE, T. R. & O'CALLAGHAM, M. *Op. cit.*

*Bacillus thuringiensis* tem ação patogênica para Diptera, Coleoptera, Hymenoptera, Hemiptera, Isoptera e Orthoptera.<sup>10</sup> Também foi relatada toxicidade para algumas espécies de nematóides, protozoários, ácaros e para *Leishmania major*, parasita causador da leishmaniose.<sup>11</sup> Estima-se que existam cerca de 50.000 a 60.000 estirpes de *Bacillus* spp. em coleções espalhadas pelo mundo e este número deve ultrapassar 100.000 em 2012.<sup>12</sup>

As proteínas Cry individualmente apresentam um espectro de ação restrito a uma Ordem de insetos em particular<sup>13</sup>, porém existem algumas exceções como Cry1A que é ativa para Lepidoptera e Diptera; Cry1B para Coleoptera, Diptera e Lepidoptera; Cry2A para Diptera, Hemiptera e Lepidoptera; e Cry3A para Coleoptera, Hemiptera e Hymenoptera.<sup>14</sup> As proteínas conhecidas por  $\delta$ -endotoxinas recebem este nome devido a sua localização intracelular e à análise dos cristais por microscopia de contraste de fase e do perfil eletroforético das proteínas Cry que podem indicar o espectro de ação destas proteínas.<sup>15</sup> A maioria das estirpes de Bt pode sintetizar mais de um tipo de cristal formados por diferentes  $\delta$ -endotoxinas, podendo haver casos em que cinco a seis toxinas são encontradas. O peso molecular das  $\delta$ -endotoxinas varia entre 13,6 e 142 kDa; sua constituição é glicoprotéica, representando normalmente 20 a 30% do peso seco das células.<sup>16</sup>

O processo de formação desse cristal está ligado à esporulação, uma vez que estudos de cristalografia mostraram que ele é constituído a partir do segundo estágio de esporulação e liberado no momento em que as células são lisadas.<sup>17</sup> O cristal pode ser bipiramidal, cuboide, romboide, ovoide, esférico ou, ainda, sem forma definida.<sup>18</sup> De Barjac & Bonnefoi<sup>19</sup> propuseram uma classificação baseada em propriedades bioquímicas e na sorotipagem da aglutinação de antígenos flagelares (antígeno H) das células vegetativas, um caráter específico e estável, facilitando bastante a diferenciação entre as várias estirpes e proporcionando uma considerável ordenação aos isolados de Bt, que passaram a ser agrupados em subespécies.

Hofte & Whiteley<sup>20</sup> apresentaram uma nomenclatura baseada nas sequências de aminoácidos e no espectro de ação das toxinas. Nessa classificação, as toxinas Cry I apresentaram atividade contra lepidópteros, Cry II ativas contra lepidópteros e dípteros, Cry III ativas contra coleópteros, Cry IV ativas contra dípteros e Cyt (associada à Cry IV), por não apresentar homologia com as demais classes ou atividade específica, foi reconhecida como uma classe a

<sup>10</sup> EDWARDS, D. L.; PAYNE, J. & SOARES, G. G. Novel isolates of *Bacillus thuringiensis* having activity against nematodes. *European Patent Application* EP O 303 426 A2, 1988.

FEITELSON, J. S. Novel pesticidal delta-endotoxins from *Bacillus thuringiensis*. In: ANNUAL MEETING OF THE SOCIETY FOR INVERTEBRATE PATHOLOGY, 27, Montpellier, 1994. *Proceedings...* Montpellier: SIP, 1994. p. 184.

FRANKENHUYZEN, K. van. Insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* crystal proteins. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 101, n. 1, p. 1-16, 2009.

<sup>11</sup> RAYMOND, B.; JOHNSTON, P. R. & WRIGHT, D. J. *et al.* *Op. cit.*

EDWARDS, D. L.; PAYNE, J. & SOARES, G. G. *Op. cit.*

FEITELSON, J. S. *Op. cit.*

FRANKENHUYZEN, K. van. *Op. cit.*

WEISER, J. Impact of *Bacillus thuringiensis* on applied entomology in eastern Europe and in Soviet Union. In: KRIEG A. & HUGER, A. M. (Eds.) *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft*. Berlin-Dahlem Heft 233, p. 37-50, 1986.

AMANCHI, N. R. & HUSSAIN, M. M. Cytotoxic effects of delfin insecticide (*Bacillus thuringiensis*) on cell behaviour, phagocytosis, contractile vacuole activity and macronucleus in a protozoan ciliate *Paramecium caudatum*. *African Journal of Biotechnology*, v. 7, n. 15, p. 2.637-2.643, 2008.

EL-SADAWY, H. A.; EL-HAG, H. A.; GEORGY, J. M. *et al.* *In vitro* activity of *Bacillus thuringiensis* (H14) 43 kDa crystal protein against *Leishmania major*. *American-Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Science*, v. 3, n. 4, p. 583-589, 2008.

mais. Com isso, rapidamente, percebeu-se que esta classificação não era adequada, pois se poderiam encontrar toxinas muitos semelhantes, mas com especificidades diferentes ou mesmo toxinas com atividade dupla para larvas de coleópteros e lepidópteros e que foram chamadas de Cry V, criando uma grande confusão na nomenclatura.<sup>21</sup>

Diante deste quadro, em 1994, foi criado um comitê internacional que propôs nomenclatura baseada apenas nas sequências de aminoácidos. Nesta nova classificação, os números romanos foram substituídos por números arábicos e os parênteses removidos.<sup>22</sup> Essas proteínas são codificadas por cerca de 600 genes *cry* (223 genes do tipo *cry1*) já sequenciados e as proteínas Cry estão classificadas em 68 grupos e diferentes subgrupos. A atualização constante destes dados pode ser visualizada via Internet no sítio: [http://www.lifesci.sussex.ac.uk/home/Neil\\_Crickmore/Bt/](http://www.lifesci.sussex.ac.uk/home/Neil_Crickmore/Bt/).

### O uso de *Bacillus thuringiensis* como estratégia do MIP

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) surgiu como um novo conceito de controle de pragas, caracterizado pela interdisciplinaridade e racionalização do uso das táticas disponíveis, priorizando sempre o uso daquelas com efeito reduzido sobre o meio ambiente e com retorno econômico satisfatório ao agricultor. Kogan define o MIP como “Sistema de decisão para uso de táticas de controle, isoladamente ou associadas harmoniosamente, numa estratégia de manejo baseada em análises de custo/benefício que levam em conta o interesse e/ou impacto nos produtores, sociedade e ambiente”<sup>23</sup>.

#### *Uso de Bacillus thuringiensis como bioinseticida*

Desde a sua descoberta, em 1900, a bactéria entomopatogênica *Bacillus thuringiensis* vem liderando os estudos de patologia e controle microbiano. Atualmente é considerada um dos principais patógenos de insetos utilizados no controle de pragas agrícolas.<sup>24</sup> Trezentos e vinte e dois produtos à base de *Bt* são responsáveis por 53% do mercado mundial de bioinseticidas, gerando um faturamento anual de 210 milhões de dólares.<sup>25</sup> Desde 2000, no entanto, a participação dos bioinseticidas à base de *Bt* vem diminuindo nesse segmento de mercado. No ano de 2000 era de 90%, diminuindo para 60% em 2005 e para 53% em 2010. Essa redução ocorreu devido ao grande incremento no uso de vírus entomopatogênicos (+100%) e fungos entomopatogênicos (+52%) para o controle de pragas agrícolas, enquanto o mercado de produtos à base de *Bt* aumentou apenas 36%.<sup>26</sup>

- <sup>12</sup> GLARE, T. R. & O'CALLAGHAM, M. *Op. cit.*  
SILVEIRA, L. F. V.; POLANCZYK, R. A.; PRATISSOLI, D. *et al.* Seleção de isolados de *Bacillus thuringiensis* para *Tetranychus urticae* Koch. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 78, n. 2, p. 273-278, 2011.
- <sup>13</sup> POLANCZYK, R. A.; FRANCO, C. R. & MONNERAT, R. G. Plantas geneticamente modificadas expressando toxinas de *Bacillus thuringiensis*. In: POLANCZYK, R. A. *et al.* (Org.). *Estudos Avançados em Produção Vegetal*. Vitória: G M Gráfica e Editora, 2008. v. 2. p. 471-488.
- <sup>14</sup> FEITELSON, J. S. *Op. cit.*
- <sup>15</sup> DE MAAGD, R. A.; BRAVO, A. & CRICKMORE, N. How *Bacillus thuringiensis* has evolved specific toxins to colonize the insect world. *Trends in Genetics*, v. 17, n. 4, p. 193-199, 2001.
- <sup>16</sup> GLARE, T. R. & O'CALLAGHAM, M. *Op. cit.*
- <sup>17</sup> VALADARES-INGLIS, M. C. C.; SHILER, W. & DESOUSA, M. T. Engenharia genética de microrganismos agentes de controle biológico. In: MELO, I. S. (Eds.). *Controle Biológico*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1998. p. 201-230.
- <sup>18</sup> MONNERAT, R. G. & BRAVO, A. Proteínas bioinseticidas produzidas pela bactéria *Bacillus thuringiensis*: modo de ação e resistência. v. 3 In: ITAMAR, M. (Ed.). *Controle Biológico*. 1. ed. São Paulo: Embrapa, 2000. p. 163-192.
- HABIB, M. E. M. & ANDRADE, C. F. S. Bactérias Entomopatogênicas. In: ALVES, S. B. *Controle Microbiano de Insetos*. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 383-446.
- <sup>19</sup> DE BARJAC, H. & BONNEFOI, A. Essai de classification biochimique et sérologique de 24 souches de *Bacillus* du type *Bacillus thuringiensis*. *Entomophaga*, v. 7, n. 1, p. 5-31, 1962.

As primeiras tentativas de utilização de *Bt* no controle de pragas foram feitas na Europa, somente após 20 anos de sua descoberta. Devido aos êxitos obtidos em alguns ensaios laboratoriais, a produção comercial deste patógeno começou na França e, em 1938, o produto Sporeine foi lançado naquele país. Nos EUA, o interesse pela utilização deste patógeno aumentou após 1950, principalmente para o controle de lepidópteros, resultando na produção de um formulado denominado Thuricide.<sup>27</sup>

Deve-se salientar que a preocupação do público consumidor com os resíduos de agrotóxicos nos alimentos e seu efeito sobre o ambiente incentivou a utilização de produtos microbianos, principalmente em hortaliças e frutíferas de alto valor comercial. Em 1970, começou a ser comercializado o Dipel (bioinseticida à base de *Bt kurstaki*). Este provou ser 20 a 200 vezes mais potente que outros formulados com *Bt*<sup>28</sup>, sendo utilizado para o controle de mais de 167 lepidópteros-praga.<sup>29</sup> Em 1976, foi descoberto um isolado eficaz contra Diptera, denominado *Bt israelensis* e, em 1983, outro denominado *Bt tenebrionis*, letal para Coleoptera.

Na América do Norte, merece destaque a utilização de *Bt kurstaki* (Dipel) contra insetos desfolhadores em florestas, especialmente *Choristoneura fumiferana* (Lepidoptera: Tortricidae) e *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae). No Canadá, a área pulverizada com *Bt* para o controle de *C. fumiferana* aumentou de 5% para quase 100% da área cultivada entre 1980 e 1995. A eficiência no controle causou rápido decréscimo populacional desta praga, diminuindo drasticamente a área aplicada no início da década de 1990 no leste do Canadá, embora o mesmo não tenha sido observado no oeste do país. Em 1999, foram pulverizados cerca de 6 milhões de hectares com Dipel para o controle desta praga no Canadá. Nos Estados Unidos da América do Norte, cerca de 2,4 milhões de hectares de florestas (ou 82% da área cultivada com florestas decíduas) recebem aplicações anuais de bioinseticidas à base de *Bt* contra *L. dispar*, estratégia que faz parte de um programa governamental de supressão desta praga.<sup>30</sup>

Os primeiros trabalhos no Brasil visando ao emprego de produtos à base de *Bt* foram realizados por Figueiredo *et al.*<sup>31</sup> e Pigatti *et al.*<sup>32</sup>. Esses autores ressaltaram o elevado potencial desse entomopatógeno no controle de várias pragas como: *Ascia monuste orseis* (Lepidoptera: Pieridae), *Sylepta silicalis* (Lepidoptera: Pyralidae), *Dirphia sabina* (Lepidoptera: Saturniidae), *Azochis gripusalis* (Lepidoptera:

- <sup>20</sup> HOFTE, H. & WHITELEY, H. R. Insecticidal crystal protein of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiological Reviews*, v. 53, n. 2, p. 242-255, 1989.
- <sup>21</sup> TAYLOR, R.; TIPPET, J. GIBB, G. *et al.* Identification and characterization of a novel *Bacillus thuringiensis* d-endotoxin entomocidal to coleopteran and lepidopteran larvae. *Molecular Microbiology*, v. 6, n. 9, p. 1.211-1.217, 1992.
- <sup>22</sup> CRICKMORE, N.; ZEIGLER, D. R.; FEITELSON, J. *et al.* Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 62, p. 807-813, 2008.
- <sup>23</sup> KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary development. *Ann. Rev. Entomol.*, v. 43, p. 243-270, 1998.
- <sup>24</sup> BRAVO, A.; LIKITVIVATANAVONG, S.; GILL, S. S. & SOBERON, M. *Op. cit.* LORD, J. C. From Metchnikoff to Monsanto and beyond: The path of microbial control. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 89, p. 19-29, 2005.
- BRAR, S. K.; TYAGI, V. R. D. & VALÉRO, J. R. Recent advances in downstream processes and formulations of *Bacillus thuringiensis* based biopesticides. *Process Biochemistry*, 41:323-342, 2006. CAB International Centre. *The 2010 Worldwide Biopesticides Market Summary*. Wallingford: CAB International Centre, 2010. 40 p.
- <sup>25</sup> CAB International Centre. *Op. cit.*
- <sup>26</sup> CAB International Centre. *Op. cit.*
- <sup>27</sup> LORD, J. C. *Op. cit.* BEEGLE, C. C. & YAMAMOTO, T. Invitation paper (C. P. Alexander Fund): history of *Bacillus thuringiensis* Berliner research and development. *Canadian Entomologist*, v. 124, p. 587-616, 1992.

Pyralidae), *Alabama argillacea* (Lepidoptera: Noctuidae), *Mocis repanda* (Lepidoptera: Noctuidae), *Xanthopastis timais* (Lepidoptera: Noctuidae), *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) e *Erinnyis ello* (Lepidoptera: Noctuidae). Os primeiros resultados obtidos foram considerados promissores e impulsionaram as pesquisas com este entomopatógeno. O primeiro projeto que teve como objetivo o controle de uma importante praga agrícola brasileira, a lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) com *Bt*, foi iniciado em 1993 pela Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, Minas Gerais.

Até o início da década de 1990, somente três produtos comerciais estavam disponíveis no mercado brasileiro, todos à base de *Bt kurstaki* (Dipel, Thuricide e Bactospeine).<sup>33</sup> Sua introdução sofreu com problemas relacionados às estratégias de uso, marketing, e também pela propaganda negativa feita pelos vendedores de inseticidas químicos, os quais difundiam a concepção de que os insetos deveriam ser rapidamente controlados.<sup>34</sup> Atualmente, embora o número de produtos disponíveis no mercado não tenha sofrido grande incremento, seis bioinseticidas à base de *Bt* são recomendados para o controle de 26 pragas, em flores-tas, hortaliças e grandes culturas.

Este incremento deu-se, principalmente, devido à mudança nas estratégias de marketing das empresas que comercializam estes produtos, as quais passaram a enfatizar algumas vantagens, como por exemplo, a manutenção das populações de parasitoides, predadores e polinizadores.<sup>35</sup> Porém, apesar das vantagens ecológicas e sociais dos produtos microbianos, a área tratada com biopesticidas à base de *Bt* no Brasil é incerta, pois os extensionistas raramente relatam as suas atividades de campo em trabalhos científicos. Levantamento feito pela CAB International em 2010 aponta que o mercado brasileiro de produtos a base de *Bt* é de US\$12,5 milhões e o volume comercializado atinge 275 toneladas. Essa reduzida utilização se deve a uma série de fatores como competição com produtos químicos (alto custo), especificidade (espectro de ação reduzido) e baixa persistência no campo da maioria das formulações disponíveis no mercado (inativação por radiação ultravioleta). Novos produtos à base de *Bt* devem estar disponíveis no mercado brasileiro nos próximos anos, aumentando a disponibilidade destes biopesticidas. Em relação ao custo de tratamento de um hectare, varia de US\$ 7,5 a US\$ 15, conforme a cultura.<sup>36</sup>

Apesar da predominância de insetos parasitoides em programas de controle biológico na Colômbia, alguns pro-

- LAMBERT, B. & PEFFEROEN, M. Insecticidal promise of *Bacillus thuringiensis*. *BioScience*, 42:112-122, 1992.
- <sup>28</sup> BEEGLE, C. C. & YAMAMOTO, T. *Op. cit.*
- <sup>29</sup> GLARE, T. R. & O'CALLAGHAM, M. *Op. cit.*
- <sup>30</sup> FRANKENHUYZEN, K. van. Application of *Bacillus thuringiensis* in forestry. In: CHARLES, J. F.; DELECLUSE, A. & LEROUX, C. N. (Eds.). *Entomopathogenic bacteria: from laboratory to field application*. 2000. p. 371-382.
- <sup>31</sup> FIGUEIREDO, M. B.; COUTINHO, J. M. & ORLANDO, A. Novas perspectivas para o controle biológico de algumas pragas com *Bacillus thuringiensis*. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 27, p. 77-88, 1960.
- <sup>32</sup> PIGATTI, A.; FIGUEIREDO, M. B. & ORLANDO, A. Experiências de laboratório sobre a atividade de novos inseticidas contra o mandorová da mandioca. *Biológico*, v. 26, p. 47-51, 1960.
- <sup>33</sup> MONNERAT, R. G. & BRAVO, A. *Op. cit.*
- <sup>34</sup> ALVES, S. B.; MOINO Jr., A. & ALMEIDA, J. E. M. Desenvolvimento, potencial de uso e comercialização de produtos microbianos. In: *Controle microbiano de insetos*. ALVES, S. B. (Ed.). Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 1.143-1.163.
- <sup>35</sup> MONNERAT, R. G. & BRAVO, A. Proteínas bioinseticidas produzidas pela bactéria *Bacillus thuringiensis*: modo de ação e resistência. In: ITAMAR, M. (Ed.). *Controle Biológico*. 1. ed. São Paulo: Embrapa, 2000. v. 3, p. 163-192.
- <sup>36</sup> ALVES, S. B.; MOINO Jr., A. & ALMEIDA, J. E. M. *Op. cit.*
- <sup>37</sup> REVELO, M. A. Efectos del *Bacillus thuringiensis* sobre algunas plagas Lepidópteras del maíz bajo condiciones tropicales. *Agricultura Tropi-*

ditos à base de *Bt*, embora em pequena escala, são utilizados no controle de pragas.<sup>37</sup> Porém, algumas décadas antes, Revelo<sup>38</sup> enfatizava o potencial deste patógeno no controle de *S. frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) e *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae), as três principais pragas da cultura do milho naquele país. Para mostrar a importância da primeira praga citada, foram gastos para seu controle, em 1990, US\$ 5,8 milhões em algodão e US\$ 4,2 milhões em milho e sorgo. Isto representa uma área tratada de 430.000 hectares a 440.000 hectares, respectivamente.<sup>39</sup>

Pragas importantes de várias hortaliças como *Leptophobia aripa* (Lepidoptera: Pieridae), *A. monuste* e *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) têm sido bem controladas por produtos à base de *Bt*. Segundo Ruiz<sup>40</sup>, os danos causados por estes insetos são economicamente insignificantes. Porém, o mesmo autor ressaltou que, na maioria dos casos, medidas de controle envolvendo a utilização do controle biológico devem ser acompanhadas por outras táticas visando manter o nível populacional das pragas abaixo do nível de dano econômico.

Em 1989, a empresa Laverlam iniciou os trabalhos com biopesticidas, visando proteger o meio e integrar as táticas do manejo integrado de pragas à agricultura colombiana. Tais esforços resultaram no Turilav (*Bt kurstaki*), utilizado no controle de *Heliothis* sp. (Lepidoptera: Noctuidae), *A. argillacea*, *Agrotis* sp. e *Spodoptera* spp., principalmente na cultura do algodão.

No Valle del Cauca, a utilização de *Bt* no controle de *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) faz parte de um programa de manejo integrado de pragas que obteve êxito reduzindo os custos de controle em mais de 54%, cerca de US\$ 650 por hectare.<sup>41</sup> Nesta mesma região, formulações à base de *Bt* são utilizadas contra *Caligo ilioneus* (Lepidoptera: Brassolidae), importante praga da cana-de-açúcar, que reduz o peso da planta entre 26 e 56% e conteúdo de açúcar de 8 a 18%. Na cultura do algodão, o *Bt* é aplicado contra surtos ocasionais de *A. argillacea* quando o desfolhamento excede 30%.

A partir de 1990, devido à redução drástica da assistência dada pela ex-União Soviética, Cuba sofreu reformas necessárias para o atendimento das necessidades básicas da população local. O país entrou em transformação em diversas áreas, inclusive na agricultura, levando ao desenvolvimento de tecnologias ecologicamente mais sustentáveis a serem utilizadas em programas de manejo integrado de pra-

- cal, v. 27, n. 1, p. 392-395, 1965.
- <sup>38</sup> REVELO, M. A. *Op. cit.*
- <sup>39</sup> BOSA, C. F. & COTES, A. M. Evaluación de la actividad insecticida de aislados nativos de *Bacillus thuringiensis* contra *Spodoptera frugiperda* (Smith). *Revista Colombiana de Entomología*, v. 23, n. 3-4, p. 107-112, 1997.
- <sup>40</sup> RUIZ, R. A. V. El control biológico de insectos plagas en hortalizas. In: LIZÁRRAGA, T. A.; BARRETO, C. U. & HOLLANDS, J. (Eds.). *Nuevos aportes del control biológico en la agricultura sostenible*. Bogotá: Editora Nacional, 1998. p. 269-294.
- <sup>41</sup> BELLOTI, A. C.; CARDONA, C. & LAPOINTE, S. L. Trends in pesticide use in Colombia and Brazil. *Journal of Agricultural Entomology*, v. 7, p. 191-201, 1990. GARCIA, F. R. Manejo integrado de plagas en cultivos del Valle del Cauca. *ICA Informa*, v. 26, p. 11-12, 1992.
- <sup>42</sup> ROSSET, P. & MOORE, M. Food security and local production of biopesticides in Cuba. *ILEIA Newsletter*, v. 13, n. 4, p. 18-23, 1999.
- <sup>43</sup> PÉREZ, N. & VASQUÉZ, L. L. Manejo ecológico de plagas. In: FUNES, F. et al. (Eds.). *Transformando el campo cubano. Avances de la agricultura sostenible*. Cuba: La Habana, 2001. p. 191-226.
- <sup>44</sup> PÉREZ, N. & VASQUÉZ, L. L. *Op. cit.*
- <sup>45</sup> CARRILLO, J. L. Pruebas de Thuricide (*Bacillus thuringiensis*) para combatir gusanos de la col en Chapingo, Mex. *Agricultura Técnica en México*, v. 3, n. 2, p. 58-60, 1971.
- <sup>46</sup> VALLÉS, S. S. Avances en el uso del control biológico en el estado de Aguascalientes. *Cuaderno de Trabajo*, v. 85, p. 1-22, 1998.
- <sup>47</sup> LOGUERCIO, L. L.; CARNEIRO, N. P. & CARNEIRO, A. A. Milho Bt: Alternativa tecnológica para con-
- gas.<sup>42</sup> Já na década de 1960, a importação de alguns produtos à base de *Bt*, eficientes para o controle de *H. virescens* e *M. latipes*, estimulou a busca por isolados nativos deste patógeno.<sup>43</sup> Durante muito tempo a utilização de inseticidas químicos, fornecidos principalmente pela ex-União Soviética, prevaleceu na agricultura cubana, e antes de 1990, o paration-metil foi muito empregado no controle de pragas.
- O Ministério da Agricultura de Cuba acelerou e expandiu, de forma significativa, os planos para incrementar a produção de inimigos naturais e assim substituir a importação de inseticidas. A partir de 1990, verificou-se uma redução de 89% na importação de inseticidas químicos e fertilizantes. No final de 1990, em torno de 56% dos inseticidas utilizados na agricultura cubana eram de origem biológica, representando uma economia de US\$ 15,6 milhões por ano. Em 1994, cerca de 222 laboratórios artesanais, os Centros de Producción de Entomófagos y Entomopatógenos (CREE), entraram em operação produzindo insetos, nematoides e entomopatógenos em 15 províncias de Cuba. Atualmente este número alcançou 280 (53 em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e 227 em áreas de frutíferas e outras culturas), e está fortemente ligado à utilização de *Bt* na agricultura cubana.<sup>44</sup>
- O emprego de entomopatógenos no controle de pragas no México iniciou na década de 1950 e em 1968/69 testes demonstraram a eficácia de produtos formulados com *Bt* (Thuricide 90T e Thuricide 90TS) no controle de *P. xylostella*.<sup>45</sup> Porém, a utilização desses bioinseticidas sofreu um aumento significativo apenas a partir de 1990, devido ao grande interesse de instituições públicas e privadas na utilização de patógenos no combate às pragas.
- Em 1999 verificou-se no México um incremento de 15 a 20% na utilização de inseticidas à base de *Bt*, com aplicação estimada em 100.000 hectares de milho, 174.000 hectares de algodão e outros 200.000 hectares em hortaliças e outros cultivos. Somente na região de Bajío Guanajuatense foram aplicadas cerca de 100 toneladas de produtos comerciais à base de *Bt* em 2001. No Estado de Aguascalientes são utilizados produtos à base de *Bt kurstaki* e *Bt aizawai* contra pragas de hortaliças, espinafre e batata em uma área de aproximadamente 1.000 hectares.<sup>46</sup> Em todo o México, estima-se que 4 a 10% dos inseticidas utilizados tem esta bactéria como ingrediente ativo. As principais companhias produtoras de *Bt* são multinacionais e o custo do controle é de US\$ 19/ha, podendo competir com os produtos químicos existentes no mercado.<sup>47</sup>

trole biológico de insetos-praga. *Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento*, n. 24, p. 47-52, 2002.

- <sup>48</sup> QAIM, M.; PRAY, C. E. & ZILBERMAN, D. Economic and social considerations in the adoption of *Bt* crops. In: ROMEIS, J. et al. (Ed.). *Integration of insect-resistant genetically modified crops within IPM programs*. Berlin: Springer, 2008. p. 329-356.
- RIE, J. van. *Bacillus thuringiensis* and its use transgenic insect control technologies. *International Journal of Medical Microbiology*, v. 290, p. 463-469, 2000.
- GUERRA, P. T.; WONG, L. J. G.; ROLDÁN, H. M. et al. Bioinseticidas: su empleo, producción y comercialización en México. *Ciencia UANL*, v. 4, n. 2, p. 143-152, 2001.

- <sup>49</sup> FIUZA, L. M. & PINTO, L. M. N. Plantas transgênicas que sintetizam toxinas de *Bacillus thuringiensis* e outras. *Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento*, n. 38, p. 62-67, 2009/2010.

### Uso de plantas modificadas geneticamente expressando toxinas de *Bacillus thuringiensis*

O progresso atual da engenharia genética e da biotecnologia tem permitido o desenvolvimento de alternativas concretas para viabilizar o emprego de novas táticas de controle dos insetos-praga em algumas culturas. Dentre as alternativas, destaca-se a possibilidade de obtenção e uso de plantas geneticamente modificadas que contêm genes codificadores das  $\delta$ -endotoxinas de *B. thuringiensis* (Bt).<sup>48</sup>

Genes de Bt codificadores de proteínas Cry foram isolados e introduzidos em plantas agronomicamente importantes, utilizando diferentes métodos de transformação genética como aqueles que empregam *Agrobacterium*, transformação direta de protoplastos e bombardeamento de partículas ou biobalística. No início da década de 1980, o primeiro gene *cry* foi clonado e expresso em *Escherichia coli*, sendo no final dessa década produzida a primeira planta de tomate com genes de Bt. O milho Maximizer™ da Novartis, o algodão Bollgard™ e a batata Newleaf™ da Monsanto foram introduzidos no mercado norte-americano em 1995, sendo genericamente conhecidas como *plantas-Bt*. Atualmente, o *milho-Bt* é a planta transgênica mais cultivada no mundo sendo utilizada em países como EUA, Brasil, Canadá, Argentina, África do Sul, Espanha e França; o *algodão-Bt* ocupa o segundo lugar. Além do milho, da batata, do tomate e do algodão, outras plantas cultivadas expressam uma ou várias proteínas Cry para o controle de lepidópteros e coleópteros.<sup>49</sup>

A área cultivada no mundo com culturas biotecnológicas continuou a crescer em 2010, alcançando 148 milhões de hectares. Os oito países líderes, cada um dos quais cultivando mais do que um milhão de hectares, em ordem decrescente de área cultivada foram: EUA (66,8 milhões de hectares), Brasil (25,4), Argentina (22,9), Índia (9,4), Canadá (8,8), China (3,5), Paraguai (2,9), Paquistão (2,4) e África do Sul (2,2). Em 2010, o número de agricultores que se beneficiaram dos cultivos biotecnológicos globalmente, em 25 países, subiu para 14,0 milhões, um incremento de 0,7 milhões acima do registrado em 2008. Do total global de 14,0 milhões de produtores rurais biotecnológicos beneficiários em 2009 (ultrapassando os 13,3 milhões em 2008), mais de 90% ou 13,0 milhões (ultrapassando os 12,3 milhões em 2008) eram agricultores pequenos e sem recursos em países em desenvolvimento; o saldo de um milhão eram agricultores de países industrializados,

como EUA e Canadá, e de países em desenvolvimento, como Argentina e Brasil. Dos 13,0 milhões de agricultores pequenos e sem recursos, a maioria era de agricultores de algodão Bt, sendo 6,5 milhões na China e 6,3 milhões na Índia.<sup>50</sup>

<sup>50</sup> JAMES, C. *Op. cit.*

Em 2008, no município de Manoel Viana, Rio Grande do Sul (Brasil), iniciou-se o cultivo oficial de milho transgênico (Yieldgard). Esta planta geneticamente modificada é resistente às lagartas do colmo, cartucho e espiga. No município foram cultivados 200ha com milho Bt, que se mostra 10 a 15% mais produtivo que o milho convencional.<sup>51</sup> Atualmente o milho Bt é responsável pela maior parte do incremento de plantas transgênicas no Brasil.<sup>52</sup>

<sup>51</sup> POLANCZYK, R. A.; FRANCO, C. R. & MONNERAT, R. G. Plantas geneticamente modificadas expressando toxinas de *Bacillus thuringiensis*. v. 2. In: POLANCZYK, R. A. *et al.* (Org.). *Estudos Avançados em Produção Vegetal*. Vitória: G. M. Gráfica e Editora, 2008. p. 471-488.

<sup>52</sup> JAMES, C. *Op. cit.*

Em 2010, dos 27 países na União Européia, seis oficialmente plantaram milho Bt para produção comercial. Os seis países da UE que cultivaram o milho Bt em 2009, especificados em ordem decrescente de área cultivada, foram Espanha, República Checa, Portugal, Romênia, Polônia e Eslováquia. Em 2008, todos os sete países que cultivaram milho Bt relataram aumento na área plantada em relação a 2007. Entre 2008 e 2009, a situação se modificou. Dos seis países da UE cultivando milho Bt em 2009, Portugal teve uma área cultivada maior do que em 2008, a Polônia manteve a área e a Espanha registrou 4% a menos em área cultivada. O total de lavouras de milho também caiu em 2008 por uma margem semelhante e, sendo assim, o índice de adoção de 22% foi igual para 2008 e 2009. Os outros três países restantes da UE – República Checa, Romênia e Eslováquia –, registraram uma redução de áreas cultivadas com milho Bt em 2009, mesmo tomando com base as áreas cultivadas reduzidas por país de 1.000 a 7.000 hectares.<sup>53</sup>

<sup>53</sup> JAMES, C. *Op. cit.*

O arroz Bt foi aprovado pela China em 27 de novembro de 2009. Essa é a cultura alimentar mais importante do mundo e o arroz modificado expressando toxinas de Bt pode oferecer benefícios calculados em US\$4 bilhões por ano para até 110 milhões de famílias que dele dependem, só na China (440 milhões de beneficiários), que cultivam 30 milhões de hectares; em média, eles plantam um terço de um hectare de arroz. O aumento de rendimento e de renda do agricultor, ao plantar o arroz Bt, pode contribuir para uma melhor qualidade de vida e um ambiente mais seguro e mais sustentável em razão de menor dependência de inseticidas.<sup>54</sup>

<sup>54</sup> JAMES, C. *Op. cit.*

Um milho biotecnológico inédito, designado de “SmartStax™”, ganhou registro da Agência de Proteção Ambiental (EPA) norte-americana e autorização regulamentar

da Agência de Inspeção Alimentar Canadense (CFIA) em julho de 2009. O SmartStax™ resultou de um acordo de licenciamento mútuo e da colaboração entre o setor de Pesquisa e Desenvolvimento, assinado em 2007, entre a Monsanto Company e a Dow AgroSciences. O SmartStax™, produto de tratamentos múltiplos baseado em um total de 8 genes, é a espécie agrícola biotecnológica de genes combinados mais moderna aprovada até hoje. Tem o objetivo de propiciar o controle mais abrangente de insetos-praga no milho, além de tolerância a herbicidas para o controle de plantas daninhas. O SmartStax™ é o resultado de um conjunto de 4 produtos aprovados dos seguintes eventos: MON 89034 x TC1507 x MON 88017 x DAS-59122-7. Os 8 genes são *cry2Ab*, *cry1A.105*, *cry1F*, *cry3Bb1*, *cry34*, *cry35Ab1*, *cp4*, e *bar* que protegem contra os insetos-alvo: *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae), *S. frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae), *A. ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae), *Richia albicosta* (Lepidoptera: Noctuidae), *Diatraea grandiosella* (Lepidoptera: Crambidae), *Diabrotica barberi* (Coleoptera: Chrysomelidae) e *D. vergifera vergifera*.<sup>55</sup>

<sup>55</sup> JAMES, C. *Op. cit.*  
MONSANTO. SmartStax:  
new industry standard  
stacked-trait platform. (<http://www.monsanto.com/pdf/investors/2007/09-14-07.pdf>)

A agricultura convencional tem causado um impacto expressivo no meio ambiente e a biotecnologia pode ser usada para reduzir essas marcas. Avanços na primeira década incluem redução expressiva no uso de agrotóxicos, economia no uso de combustíveis fósseis e diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> através do plantio direto ou de menos aração. Incluem ainda a conservação do solo e da umidade pela otimização da prática de plantio direto através do plantio das variedades de tolerância a herbicidas. A redução acumulada no uso dos pesticidas para o período de 1996 a 2008 foi estimada em 268 milhões de quilos (kg) de ingredientes ativos (i.a.), portanto, uma economia de 6,9% em agrotóxicos, o que corresponde à redução de 13,5% no impacto ambiental associado ao uso de agrotóxicos nestas lavouras, conforme o Quociente de Impacto Ambiental (EIQ). O Quociente é uma medida baseada em diversos fatores que contribuem para o impacto ambiental líquido de um dado ingrediente ativo. As plantas geneticamente modificadas podem contribuir para a redução na emissão dos gases de efeito estufa e ajudar a mitigar as mudanças climáticas de duas maneiras importantes. Em primeiro lugar, na economia permanente nas emissões de dióxido de carbono, através do uso reduzido de combustíveis fósseis, juntamente com a diminuição nas aplicações de inseticidas e herbicidas; em 2008, verificou-se uma economia estimada em 1,22

bilhões de quilos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), equivalente à retirada de 0,53 de um milhão de carros de circulação. Em segundo lugar, na economia adicional através do plantio conservacionista (necessidade de menos ou nenhuma aração facilitada pelas plantas com tratamento de tolerância a herbicidas) de alimentos para humanos e animais e fibras de origem biotecnológica, levando a um sequestro adicional de carbono no solo equivalente, em 2008, a 13,2 bilhões de quilos de CO<sub>2</sub>, ou à retirada de 6,41 milhões de carros de circulação. Assim, em 2008, as economias permanentes e adicionais de sequestro de carbono, juntas, corresponderam a 14,4 bilhões de quilos de CO<sub>2</sub>, ou à retirada de 6,94 (cerca de 7) milhões de carros de circulação.<sup>56</sup>

<sup>56</sup> JAMES, C. *Op. cit.*

## Considerações finais

A eficiência de bioinseticidas à base de *B. thuringiensis* e das plantas geneticamente modificadas que expressam toxinas desta bactéria no controle de pragas agrícolas é consenso mundial; porém, no primeiro caso, os Bt-inseticidas sofrem concorrência dos agrotóxicos convencionais que são tradicionalmente usados para controlar as pragas e, por outro lado, a mudança de atitude do agricultor e a procura por um produto com menor impacto sobre o ambiente e sobre a saúde humana ainda são tímidas e sobrepujadas, muitas vezes, pela falácia *da necessidade de aplicar agrotóxicos para poder colher*. O treinamento dos técnicos e agrônomos ligados à extensão rural e o estímulo à produção dos Bt-inseticidas são passos importantes para ampliar os horizontes de uma agricultura sustentável e ecologicamente correta.

As plantas-Bt, embora eficientes no controle das pragas, ainda não são 100% seguras ambientalmente, embora nenhum trabalho científico publicado até hoje seja conclusivo a favor ou contra o uso desta estratégia de controle. Questões como área de refúgio, efeito sobre inimigos naturais, fluxo gênico e efeito sobre a saúde humana ainda são debatidas no cenário científico. Porém, é quase certo que seu efeito sobre o meio ambiente e organismos não alvo é significativamente menor do que o efeito já conhecido dos agrotóxicos sobre os mesmos, amplamente documentado e cientificamente reconhecido. Dessa forma, a questão a ser levantada é se a redução do uso dos agrotóxicos causado pelo aumento da área cultivada com plantas transgênicas é mais importante do que as dúvidas que ainda restam sobre a utilização de transgenia no manejo de pragas na agricultura moderna.

Ricardo Antonio Polanczyk é graduado em Agronomia, doutor em Entomologia e professor do Departamento de Fitosanidade da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, São Paulo.  
rapolanc@fcav.unesp.br

Lidia Mariana Fiuza é graduada em Agronomia, doutora em Ciências Agronômicas e professora do Centro de Ciências da Saúde da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Rio Grande do Sul.  
fiuza@unisisinos.br

Sergio Antonio De Bortoli é graduado em Agronomia, doutor em Entomologia e professor do Departamento de Fitosanidade da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, São Paulo.  
bortoli@fcav.unesp.br