

215

Circular
TécnicaSete Lagoas, MG
Dezembro, 2015

Autores

Fernando Hercos Valicente
Engenheiro Agrônomo,
D.Sc. em Entomologia
Genética Molecular,
Pesquisador da Embrapa
Milho e Sorgo, Cx. Postal
151, 35701-970 Sete
Lagoas, MG,
fernando.valicente@
embrapa.br

Gilberto Santos Andrade
Departamento de Agronomia,
Universidade Federal
de Rondônia, Avenida
Norte-Sul, 700, Bairro Nova
Morada, 76940-000 Rolim
de Moura, RO

Simone Martins Mendes
Eng.-Agrôn., D.Sc. em
Entomologia, Pesquisadora
da Embrapa Milho e Sorgo,
Cx. Postal 151, 35701-970
Sete Lagoas, MG,
simone.mendes@embrapa.
br

Plantas Transgênicas e Possíveis Efeitos em Agentes de Controle Biológico

Introdução

O desenvolvimento de técnicas de engenharia genética abre um horizonte ilimitado de inovações na área de melhoramento vegetal, que demanda a implementação de metodologias interdisciplinares de análise e avaliação de riscos e benefícios. Interesses científicos e comerciais têm sido focados, principalmente, em transgenes que conferem às plantas geneticamente modificadas (GM) resistência à aplicação de herbicidas e resistência ao ataque de insetos-praga. Neste último grupo estão os genes que codificam proteínas tóxicas derivadas da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt) e os inibidores de protease (IPs) derivados de diversas fontes.

Os inibidores de protease, assim como as toxinas Bt, atuam no metabolismo dos insetos suscetíveis, porém com diferentes modos de ação (JOUANIN et al., 1998). Enquanto a intoxicação por proteínas Bt ocorre após a ligação da toxina aos receptores intestinais, culminando em lise das células epiteliais (GILL et al., 1992), os IPs bloqueiam a ação das proteases intestinais, ocasionando a morte dos indivíduos por deficiência nutricional de proteínas (HAQ et al., 2004).

Nesta circular serão abordados os possíveis efeitos (positivos e negativos) das plantas GM sobre alguns organismos da entomofauna agrícola, como insetos predadores e parasitoides.

Predadores

Os insetos predadores formam um grupo diverso no ecossistema e muito importante dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP). Existem cerca de 200.000 espécies de artrópodes (NEW, 1991) e 16 ordens contêm insetos predadores, distribuídos em aproximadamente 200 famílias, incluindo as aranhas e os ácaros. Muitas culturas possuem um grande número de predadores, e não é difícil de serem encontradas cerca de 300-500 espécies deles. Entre os artrópodes não insetos, as aranhas (Araneae) representam o maior grupo e o mais diverso. Apesar de todas as espécies de aranhas conhecidas serem predadoras, há de 6 a 8 famílias comumente encontradas nas lavouras. Os ácaros (Acari) têm um número representativo de espécies predadoras, a maioria encontrada na família Phytoseiidae.

Os insetos predadores possuem algumas características específicas, como matar e consumir mais de uma presa para completarem o seu ciclo de vida, possuir um tamanho maior quando comparado com a presa, e de um modo geral as larvas serem ativas e com órgãos sensitivos e de

locomoção. As presas são consumidas quase imediatamente, exceto para vespas predadoras que podem estocar. Uma característica é que os predadores apresentam de um modo geral aparelho bucal do tipo mastigador ou sugador.

Uma das vantagens do uso de plantas transgênicas resistentes a insetos dentro do Manejo Integrado de Pragas (MIP) é a redução do uso de inseticidas químicos convencionais para o controle de pragas, beneficiando o meio ambiente. Mas uma preocupação que envolve sua utilização é o potencial efeito de consequências ecológicas sobre organismos não alvos, que desempenham um importante papel no controle de pragas (ROMEIS et al., 2006). Dentro deste contexto, a primeira etapa é conhecer a fauna de artrópodes e as interações tróficas que existe na cultura, que tem papel fundamental na seleção de espécies expostas. Artrópodes como predadores e parasitoides podem ser expostos, tanto diretamente na planta como indiretamente pelas presas consumidas. Assim é fundamental identificar quais são os predadores e parasitoides importantes na cultura a ser estudada em determinada região ou país.

Após a identificação destes predadores, há que se conhecer a expressão da toxina Bt na planta transgênica e a ingestão desta toxina pelos insetos fitófagos (herbívoros) e entomófagos presentes na cultura. No caso dos insetos-pragas herbívoros, vários aspectos devem ser considerados porque irão influenciar a cadeia alimentar no terceiro nível trófico. Em primeiro lugar, devem-se detectar os níveis de proteínas, que podem ser expressas diferentemente entre as diversas plantas (milho/soja/algodão) e híbridos existentes no mercado, o que pode afetar o nível de expressão da proteína. Consequentemente, poderá influenciar no controle, no dano causado pelo inseto, na produção e no estágio de desenvolvimento da praga (ARCHER et al., 2000; BARRY et al., 2000). Além disso, observa-se que a concen-

tração da proteína Bt diminui em algumas partes da planta de acordo com o desenvolvimento e a maturação da cultura (OLSEN; DALY, 2000). Outro fator a ser observado é os promotores de genes específicos, que podem alterar a concentração da toxina ao longo do espaço e do tempo. Koziel et al. (1993), demonstraram que sementes de milho com o promotor constitutivo "*cauliflower mosaic virus*" CaMV/35s contêm, aproximadamente, uma dose da proteína Cry1Ab dez vezes maior que sementes com o promotor PEPC. Giles et al. (2000) observaram que grãos de milho com o promotor CaMV/35s expressando as proteínas Cry1Ab ou Cry9C podem afetar *Plodia interpunctella* (Hueb.) quatro ou cinco meses após a colheita do milho. Para insetos fitófagos, pode haver alteração no padrão de dispersão de larvas neonatas, quando expostas às plantas GM (RAMACHANDRAN et al., 2000). Um aspecto muito importante é a suscetibilidade diferenciada das pragas às diferentes proteínas Bt existentes no mercado, por exemplo, a proteína Cry1Ac em algodão transgênico não apresenta nível satisfatório de controle para *S. frugiperda* e *S. exigua* (ADAMCZYK JR. et al., 1998), no entanto, esta proteína foi altamente tóxica a *H. zea*. Já as proteínas Cry1D e Cry1F apresentaram excelente controle para *S. frugiperda* e Cry1B para *D. grandiosella* e *D. saccharalis* (BOHOROVA et al., 1997).

Deste modo, há uma interação tritrófica, em que a planta representa o primeiro nível trófico; o inseto-praga herbívoro ou presa, o segundo nível, e os inimigos naturais representam o terceiro nível. Deste modo, como muitos inseticidas químicos, o uso de plantas transgênicas pode afetar o controle biológico natural através de efeitos diretos e indiretos das plantas GM no custo adaptativo comportamental ou ecológico dos inimigos naturais (SCHULER et al., 1999). Os possíveis efeitos das GM modificadas na dinâmica populacional dos inimigos naturais são dependentes de vários fatores. Dentre esses destacam-se

o nível de resistência da planta em questão, a especificidade da proteína expressa nos tecidos da planta, os tecidos nos quais estas proteínas estão sendo expressas, a presença de plantas suscetíveis próximas ao local de plantio, o manejo que a cultura vem recebendo, entre outros (SCHULER, 2000). Além dos efeitos diretos da planta sobre a biologia e/ou o comportamento do inimigo natural, que podem ser em função de substâncias químicas ou outras fontes de alimento como pólen, flores e seiva, podem ocorrer efeitos indiretos, como o efeito da planta Bt sobre a praga, que pode alterar sua biomassa, abundância, suscetibilidade e outras características que afetarão o inimigo natural (HOY et al., 1998).

O tipo de promotor usado nas plantas Bt pode afetar os inimigos naturais de diferentes maneiras. Insetos picadores sugadores podem adquirir a proteína expressa na seiva das plantas transgênicas quando se alimentam (JOUANIN et al., 1998; SIMS; BERBERICH, 1996). Segundo Romeis (2006), é preciso observar se a via de ingestão da proteína Bt pelo inimigo natural será de forma direta, através a alimentação da planta ou indireta, pela presa que consumiu a toxina. A via direta de ingestão da toxina mais provável para inimigo natural é através do pólen, uma vez que além de ser alimento para parasitoides adultos também é fonte de alimento alternativo para diversas espécies de predadores. No entanto, Raps et al. (2001) não detectaram a proteína Cry1Ab no floema de milho GM, nem no "honeydew" de *Rhopalosiphum padi* (L.). Entretanto, a proteína foi claramente detectada em larvas e fezes de *Spodoptera littoralis* (Boisduval).

A maioria dos estudos realizados visando avaliar o impacto da proteína Bt sobre insetos predadores tem demonstrado pouco ou nenhum efeito (GLARE; O'CALLAGHAN, 2000). Em função da sua mobilidade e gama de hospedeiros, os predadores são geralmente menos afetados pela redução na abundância de uma espécie de presa em particular (SCHU-

LER et al., 1999). O grande questionamento é como as plantas GM interagem com os organismos não alvo dos diferentes níveis tróficos. As plantas transgênicas podem, ainda, afetar os predadores especialistas e os generalistas de modo diferenciado, ou seja, em baixas densidades populacionais da presa. Os predadores especialistas tendem a se dispersar mais rapidamente em busca de alimento. Já os generalistas podem permanecer na cultura e se alimentar de presas alternativas (FRIZZAS, 2003). As plantas GM apresentam um elevado nível de controle das pragas-alvo. Esta redução severa no suprimento de presas pode afetar o parasitismo no campo. Vários estudos têm sido realizados para que se possa avaliar o efeito de plantas Bt em insetos predadores, em um sistema planta-herbívoro-predador (interações tróficas). Deve-se considerar também se o inseto-praga é susceptível à toxina Bt que está sendo expressa na planta. Este é um fator preponderante para poder separar se o predador está sofrendo um efeito direto ou indireto da toxina Bt, em razão de algum dano que a toxina Bt possa causar, ou pela qualidade da presa que está sendo consumida.

Um ponto importante é separar efeito direto dos efeitos indiretos de plantas GM nestes predadores. Romeis et al. (2006) relatam trabalhos em que 11 predadores foram investigados em relações tritróficas, no sistema planta-herbívoro-predador. Entre as principais famílias, destacaram-se as espécies de Coccinellidae, Carabidae, Chrysopidae, Anthocoridae, Forficulidae, entre outras. Alguns dos principais insetos representantes destas famílias foram coleópteros das famílias Coccinellidae (*Cycloneda sanguinea*), Carabidae (*Calosoma granulatum*), Anthocoridae (*Orius insidiosus*), Chrysopidae (*Chrysoperla externa*), Forficulidae (*Doru luteipes* - tesourinha).

Os predadores a serem estudados em uma análise de risco devem ter uma importância em regular o nível das pragas da cultura em

questão. Lövei et al. (2009) resumiram o efeito de plantas Bt em inimigos naturais, em laboratório, usando um método quantitativo, similar a meta-análise, para resumir os resultados já publicados. Dively (2005) relata que plantas com genes piramidados expressando proteínas VIP3A e Cry1Ab não afetaram artrópodes não alvo. Do mesmo modo que Toschki et al. (2007) relatam que as comunidades de artrópodes, incluindo *carabidae* e aranhas, não foram afetadas pelo milho Bt expressando a proteína Cry1Ab. Mendes et al. (2012) relacionam o efeito de plantas Bt também sobre o comportamento de predação, uma vez que presas-alvo expostas à proteína tornam-se mais suscetíveis ao ataque do predador, como observado para *Orius insidiosus* (Say) alimentado com *Spodoptera frugiperda* (facilitando o comportamento de predação).

Efeitos positivos da compatibilização do uso de predadores e plantas Bt são relatados por Leite et al. (2011) através do uso de predadores combinados com plantas expressando a proteína Bt em baixa dose, como estratégia para o manejo da resistência de insetos em lavouras Bt. Já Liu et al. (2014) ponderam que o uso de predadores pode retardar a evolução da resistência, sendo que, para esses autores, essa estratégia deve ser considerada em programas de Manejo de Resistência de Insetos (MRI).

Parasitoides

A diversidade de inimigos naturais incrementa os fatores de mortalidade das pragas na área cultivada. Dentre esses, parasitoides são amplamente reconhecidos como um dos principais fatores de resistência do ambiente ao crescimento populacional de insetos-pragas (KLEMOLA et al., 2010). Por outro lado, muitas vezes, a importância da função biológica desses inimigos naturais é negligenciada na elaboração de estratégias de programas de MIP.

Além do controle biológico natural, esses

inimigos naturais são também produzidos em laboratório e liberados massalmente em lavouras de todo o mundo. Isso se deve ao conhecimento acumulado sobre as interações ecológicas ao longo dos anos, apelo ambiental da sociedade por formas naturais de produção de alimento e necessidade de táticas alternativas de controle de pragas, por causa do desenvolvimento de populações resistentes aos inseticidas.

As etapas básicas de uso desses inimigos naturais têm sido a seleção de espécies, estudos de comportamento e biologia, suas exigências térmicas e interação com o agroecossistema. Evidências indicam que a planta influencia a dispersão, biologia e comportamento de busca desses inimigos naturais. Além disso, elas são fontes de alimento para atender a demanda fisiológica, obtidas em néctar de flores, néctar extrafloral, seiva da planta ou exudados.

Assim, o sucesso do controle de pragas com esses inimigos naturais está na capacidade de adaptação nesses habitats. Deste modo, os efeitos ecológicos de plantas não afetam somente os herbívoros, mas também podem afetar os inimigos naturais. A seleção hospedeira de parasitoides é um dos principais fatores que se manifestam nesta interação, atuando no primeiro estágio de localização de pragas quando parasitoides são liberados em agroecossistemas, ou seja, adaptação ao habitat pode fornecer pistas claras sobre a localização de seus hospedeiros. Isso ocorre por ação direta dos voláteis emitidos pelas plantas ou atuação indireta na incorporação nos tecidos do hospedeiro, secreções ou fezes. Além disso, elas podem surgir como um resultado direto da alimentação por herbívoros em plantas.

As causas da variação do comportamento de parasitoides e, por conseguinte, variação no sucesso do controle biológico aplicado, ocorrem pelas variedades de aleloquímicos que intermedeiam a localização hospedeira, como

aldeídos, álcoois, compostos à base de enxofre, ésteres e terpenos.

No contexto da utilização de culturas GM para o manejo de pragas, as interações entre parasitoides e essas culturas são particularmente relevantes, pois os inimigos naturais são mais frequentemente utilizados em controle biológico aplicado. Estudos demonstram efeitos colaterais mínimos dos transgênicos sobre insetos benéficos, embora haja necessidade de avaliações de biossegurança, em razão da falta de uma pré-adaptação ou evolução da espécie/linhagem de parasitoides nesses agroecossistemas com tecnologia GM (ANDOW; HILBECK, 2004). Sinais químicos emitidos pela planta influenciam positiva ou negativamente o comportamento de parasitoides a longa distância. Plantas de milho, por exemplo, danificadas por *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) emitem voláteis, que atuam como sinomônios, atraindo o parasitoide *Exorista japonica* Townsend (Diptera: Tachinidae) (HANYU et al., 2009). Uma mudança quantitativa ou qualitativa desses voláteis poderia reduzir a localização da praga-alvo ou a detecção de fontes alternativas de alimentos por adultos de parasitoide (BERNAL et al., 2004). Por outro lado, isso nem sempre altera o comportamento de parasitoides. Milho Bt e sua linhagem isogênica apresentaram diferenças na emissão dos compostos voláteis, sendo maior na linhagem não transformada por causa, possivelmente, da maior alocação de recursos do que nas cultivares transgênicas. No entanto, o comportamento dos parasitoides *Cotesia marginiventris* (Cresson) e *Microplitis rufiventris* Kok. (Hymenoptera: Braconidae) não foi afetado, e as diferenças quantitativas nas cultivares testadas foram semelhantes ainda às observadas em outros genótipos de milho (TURLINGS et al., 2005).

O desenvolvimento de parasitoide ocorre em

um único hospedeiro. Assim, esses inimigos naturais são sensíveis à qualidade de seus hospedeiros, definida pelo tamanho, estado fisiológico, idade, entre outras características (VAN LENTEREN, 2003). Dessa forma, os efeitos de toxinas inseticidas de plantas GM em organismos que são parasitados por esses inimigos naturais, em grande parte, determinam seus efeitos em parasitoides, com variação de qualidade de acordo com o grau de suscetibilidade do hospedeiro à cultura GM (CHEN et al., 2008).

Dessa forma, a causa mais evidente de redução da população de parasitoides ocorre por efeitos indiretos, pela morte de seus hospedeiros (insetos suscetíveis à toxina Bt), em razão da forte resposta numérica da interação populacional de parasitoides e seus hospedeiros, ou menor qualidade fisiológica dos organismos que são parasitados, pelas exposições subletais à toxina Bt, o que pode resultar em efeitos sobre a reprodução, tamanho da progênie e deformações em parasitoides (ROMEIS et al., 2006).

A maior dificuldade está em determinar os efeitos ocasionados quando os hospedeiros são tolerantes. Neste caso, é necessário se conhecer a suscetibilidade do parasitoide à toxina e determinar quais parâmetros deverão ser testados (CHEN et al., 2008). Embora esse cenário possa apontar, em princípio, redução das populações de inimigos naturais em áreas com plantas GM, é necessário analisar os tipos de controle biológico e comparar essas tecnologias de controle com outras comumente utilizadas para manter a população da praga abaixo do nível de dano para esses organismos. Além disso, as informações disponíveis atualmente indicam uma compatibilidade geral entre plantas GM e inimigos naturais em todo mundo.

O controle biológico aplicado visa manter a praga abaixo do nível de dano econômico. O estabelecimento de inimigos naturais, após o

término dos ciclos de liberação, não é o objetivo neste caso, como ocorre com a liberação inoculativa. Logo, há um efeito aditivo benéfico de parasitoides com plantas GM no campo, pois insetos-praga que escapem da ação dessas toxinas podem ser controlados por esses parasitoides. Em longo tempo, parasitoides podem assim agir como um fator de redução da pressão de seleção de plantas transgênicas.

Por outro lado, os efeitos indiretos na biologia e no comportamento dos parasitoides são ainda mais importantes para estabelecer espécies exóticas ou conservar aqueles que ocorrem naturalmente. Informações de dispersão para outras áreas asseguram que hospedeiros potencialmente suscetíveis e tolerantes, mas sem toxinas, sejam localizados. Se inimigos naturais nativos ocupam raros habitats, as avaliações das rotas de exposição deverão ser maiores para garantir a preservação da espécie. Estudos da diversidade de espécies ocorrentes na região dariam suporte à adoção da tecnologia GM, minimizando efeitos negativos menos evidentes em espécies de parasitoides nativos, o que requer trabalhos de longo período, os quais possuem custos elevados para detalhar cada região de interesse. Vale ressaltar que a diversidade de insetos é ainda pouco conhecida, principalmente em regiões tropicais.

Um ponto importante sobre plantas GM cultivadas é que o objetivo do uso desta tecnologia é reduzir danos por pragas através da regulação de sua população a níveis toleráveis. A redução da população do parasitoide pela resposta numérica em função da densidade do hospedeiro é óbvia, como ocorre utilizando-se outras formas de controle disponíveis. Assim, o impacto em inimigos naturais resulta de um efeito pretendido, ou seja, redução da praga, as quais são hospedeiras desses inimigos naturais (ROMEIS et al., 2006). Além disso, agroecossistemas nem sempre possuem estabilidade temporal a longo prazo se comparados a ambientes naturais, durando

o tempo necessário para a colheita. Portanto, esses habitats são constantemente modificados, independentemente do tipo de tecnologia de melhoramento utilizada. Por outro lado, o clima tropical favorece o cultivo em diferentes estações do ano como ocorre com o milho no Brasil. Assim, mesmo que plantas GM ocasionem os efeitos já discutidos, haverá a presença de hospedeiros potenciais para parasitoides remanescentes, o que assegura a permanência desses inimigos naturais.

Sugestões de avaliações de consequências no desenvolvimento e sobrevivência de formas imaturas em insetos-hospedeiros alimentados com plantas GM podem influenciar na longevidade, fecundidade, e taxa de parasitismo de parasitoides adultos que se desenvolveram em hospedeiros criados com plantas Bt. Assim como as implicações no comportamento, nesse caso, testes de livre escolha de plantas têm sido sugeridos como forma de se avaliar a suscetibilidade de parasitoides a plantas transgênicas (PALLINI et al., 2006). Outros métodos mais complexos podem ser ainda implementados para assegurar a menor interferência do controle biológico e plantas transgênicas expressando δ -endotoxinas e inibidores de proteases e lectina, verificando possíveis mudanças no número de pragas de uma cultura agrícola a longo prazo.

Notadamente, a quantidade de inseticidas aplicados em áreas cultivadas com plantas GM tem sido menor em comparação a cultivos convencionais, o que é benéfico à sobrevivência de agentes de controle biológico, em razão dos impactos negativos do uso demasiado de inseticidas (BROOKES; BARFOOT, 2006). Isso é favorável a espécies de parasitoides e contribui para a ação dos fatores bióticos do ambiente na regulação de pragas, sendo importante para o desenvolvimento de estratégias para implementar o manejo integrado de pragas e retardar a intervenção química convencional em população de insetos-pragas.

Dessa maneira, plantas expressando toxinas Bt podem afetar inimigos naturais, no controle biológico aplicado, por um efeito esperado, em razão da redução da população de pragas. Por outro lado, o efeito positivo esperado para esses inimigos naturais resulta da redução do uso de inseticidas. Já para a conservação de inimigos naturais nativos o efeito irá depender das características da comunidade de hospedeiros, da especificidade desses inimigos naturais e, certamente, dos efeitos da redução do uso de inseticidas sobre a dinâmica populacional de artrópodes na área. Além disso, as áreas de refúgio podem ser uma importante fonte de inimigos naturais, contribuindo para o estabelecimento de espécies nativas de parasitoides. Estudos explorando as vias relevantes ecológicas de exposição podem garantir a segurança e a compatibilidades desses inimigos naturais em agroecossistemas com plantas GM.

Considerações finais

A utilização conjunta de plantas GM e controle biológico de insetos tem ganhado grande destaque, pois, além do potencial de maior eficiência do controle biológico nas variedades resistentes, os inimigos naturais podem retardar o processo de adaptação da praga às plantas transgênicas. No entanto, nem sempre esta associação resulta em interações positivas, por isso vários estudos com diferentes espécies devem ser conduzidos, já que podem ocorrer interações tritróficas envolvendo a planta, a praga e o inimigo natural. Além disso, o uso de plantas GM tem acarretado diminuição no uso de inseticidas, principalmente os de largo espectro, o que favorece a manutenção de populações de inimigos naturais e sua atuação no controle de pragas. Inimigos naturais possuem também claro papel na regulação das populações resistentes às proteínas Bt, como vem sendo demonstrado em alguns trabalhos. Portanto, as plantas transgênicas não devem ser vistas como substituição aos inseticidas, mas como ferramenta do MIP,

por auxiliar no manejo de pragas contribuindo para reduzir o uso de inseticidas não seletivos, favorecendo a aliança com o controle biológico.

Referências

- ADAMCZYK JR., J. J.; HOLLOWAY, J. W.; CHURCH, G. E.; LEONARD, B. R.; GRAVES, J. B. Larval survival and development of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on normal and transgenic cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* CryIA (c) δ -endotoxin. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 91, n. 2, p. 539-545, 1998.
- ANDOW, D. A.; HILBECK, A. Science-based risk assessment for nontarget effects of transgenic crops. **BioScience**, Washington, v. 54, n. 7, p. 637-649, 2004.
- ARCHER, T. L.; SCHUSTER, G.; PATRICK, C.; CRONHOLM, G.; BYNUM, E. D.; MORRISON, W. P. Whorl and stalk damage by European and Southwestern corn borers to four events of *Bacillus thuringiensis* transgenic maize. **Crop Protection**, Guildford, v. 19, p. 181-190, 2000.
- BARRY, B. D.; DARRAH, L. L.; HUCKLA, D. L.; ANTONIO, A. Q.; SMITH, G. S.; O'DAY, M. H. Performance of transgenic corn hybrids in Missouri for insect control and yield. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, n. 3, p. 993-999, 2000.
- BERNAL, J. S.; PRASIFKA, J.; SÉTAMOU, M.; HEINZ, K. M. Transgenic insecticidal cultivars in integrated pest management: challenges and opportunities. In: KOUL, O.; DHALIWAL, G. S.; CUPERUS, G. W. (Ed.). **Integrated pest management: potential, constraints and challenges**. Wallingford: CABI Publishing, 2004. p. 123-145.
- BOHOROVA, N.; CABRERA, M.; ABARCA, C.; QUINTERO, R.; MACIEL, A. M.; BRITO, R. M.;

HOISINGTON, D.; BRAVO, A. Susceptibility of four tropical lepidopteran maize pests to *Bacillus thuringiensis* CryI-type insecticidal toxins. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 90, p. 412-415, 1997.

BROOKES, G.; BARFOOT, P. Global impact of biotech crops: socio-economic and environmental effects in the first ten years of commercial use. **AgBioForum**, v. 9, p. 139-151, 2006.

CHEN, M.; ZHAO, J.-Z.; COLLINS, H. L.; EARLE, E. D.; CAO, J.; SHELTON, A. M. A critical assessment of the effects of Bt transgenic plants on parasitoids. **PloS One**, San Francisco, v. 3, n. 5, p. 1-7, 2008.

DIVELY, P. D. Impact of transgenic VIP3A x Cry1Ab lepidopteran-resistant field corn on the nontarget arthropod community. **Environmental Entomology**, College Park, v. 34, n. 5, p. 1267-1291, 2005.

FRIZZAS, M. R. **Efeito do milho geneticamente modificado MON810 sobre a comunidade de insetos**. 2003. 192 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

GILES, K. L.; HELLMICH, R. L.; IVERSON, C. T.; LEWIS, L. C. Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* maize grain on B-thuringiensis-susceptible *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, p. 1011-1016, 2000.

GILL, S. S.; COWLES, E. A.; PIETRANTONIO, P. V. The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 37, p. 615-636, 1992.

GLARE, T. R.; O'CALLAGHAN, M. *Bacillus thuringiensis*: biology, ecology and safety. New York: John Wiley & Sons, 2000. 368 p.

HANYU, K.; ICHIKI, R. T.; NAKAMURA, S.; KAINOH, Y. Duration and location of attraction to herbivore-damaged plants in the tachinid parasitoid *Exorista japonica*. **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 44, p. 371-378, 2009.

HAQ, S. K.; ATIF, S. M.; KHAN, R. H. Protein proteinase inhibitor genes in combat against insects, pests, and pathogens: natural and engineered phytoprotection. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 431, p. 145-159, 2004.

HOY, C. W.; FELDMAN, J.; GOULD, F.; KENNEDY, G. G.; REED, G.; WYMAN, J. A. Naturally occurring biological controls in genetically engineered crops. In: BARBOSA, P. (Ed.). **Conservation biological control**. San Diego: Academic Press, 1998. p. 185-205.

JOUANIN, L.; BONADE-BOTTINO, M.; GIRARD, C.; MORROT, G.; GIBAND, M. Transgenic plants for insect resistance. **Plant Science**, Limerick, v. 131, p. 1-11, 1998.

KLEMOLA, N.; ANDERSSON, T.; RUOHOMÄKI, K.; KLEMOLA, T. Experimental test of parasitism hypothesis for population cycles of a forest lepidoptera. **Ecology**, New York, v. 91, n. 9, p. 2506-2513, 2010.

KOZIEL, M. G.; BELAND, G. L.; BOWMAN, C.; CAROZZI, N. B.; CRENSHAW, R.; CROSSLAND, L.; DAWSON, J.; DESAI, N.; HILL, M.; KADWELL, S.; LAUNIS, K.; LEWIS, K.; MADDOX, D.; MCPHERSON, K.; MEGHJI, M. R.; MERLIN, E.; RHODES, R.; WARREN, G. W.; WRIGHT, M.; EVOLA, S. V. Field performance of elite transgenic maize plants expressing an insecticidal protein derived from *Bacillus thuringiensis*. **Bio-Technology**, New York, v. 11, p. 194-200, 1993.

LEITE, N. A.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; PEREIRA, E. J. G. **O milho Bt no Brasil: a situação e a evolução da resistência de**

insetos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 46 p. il. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 133).

LIU, X.; CHEN, M.; COLLINS, H. L.; ONSTAD, D. W.; ROUSH, R. T.; ZHANG, Q.; SHELTON, A. M. Natural enemies delay insect resistance to Bt crops. **Plos One**, San Francisco, v. 9, n. 3, p. 1-8, 2014.

LÖVEI, G. L.; ANDOW, D. A.; ARPAIA, S. Transgenic insecticidal crops and natural enemies: a detailed review of laboratory studies. **Environmental Entomology**, College Park, v. 38, p. 293-306, 2009.

MENDES, S. M.; BRASIL, K. G. B.; WAQUIL, M. S.; MARUCCI, R. C.; WAQUIL, J. M. Biologia e comportamento do percevejo predador, *Orius insidiosus* (SAY, 1832) (Hemiptera: anthocoridae) em milho Bt e não Bt. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 753-761, 2012.

NEW, T. R. **Insects as predators**. Kensington: New South Wales University Press: Australian Institute of Biology, 1991.

OLSEN, K. M.; DALY, J. C. Plant-toxin interactions in transgenic Bt cotton and their effect on mortality of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, p. 1293-1299, 2000.

PALLINI, A.; SILVIE, P.; MONNERAT, R. G.; RAMALHO, F. F. S.; SONGA, J. M.; BIRCH, A. N. E. Non-target and biodiversity impacts on parasitoids. In: HILBECK, A.; ANDOW, D. A.; FONTES, E. M. G. (Ed.). **Environmental risk assessment of genetically modified organisms: methodologies for assessing Bt cotton in Brazil**. Wallingford: CABI Publishing, 2006. p. 200-224.

RAMACHANDRAN, S.; BUNTIN, G. D.; ALL, J. N.; RAYMER, P. L.; STEWART, C. N. Intraspecific competition of an insect-resistant transgenic canola in seed mixtures. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, n. 2, p. 368-374, 2000.

RAPS, A.; KEHR, J.; GUGERLI, P.; MOAR, W. J.; BIGLER, F.; HILBECK, A. Immunological analysis of phloem sap of *Bacillus thuringiensis* corn and of the nontarget herbivore *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) for the presence of Cry1Ab. **Molecular Ecology**, Oxford, v. 10, p. 525-533, 2001.

ROMEIS, J.; MEISSE, M.; BIGLER, F. Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. **Nature Biotechnology**, New York, v. 24, n. 1, p. 63-71, 2006.

SCHULER, T. H. The impact of insect resistant GM crops on populations of natural enemies. **Antenna**, London, v. 24, p. 59-65, 2000.

SCHULER, T. H.; POPPY, G. M.; KERRY, B. R.; DENHOLM, I. Potential side effects of insect resistant transgenic plants on arthropod natural enemies. **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v. 17, p. 210-216, 1999.

SIMS, S. R.; BERBERICH, S. A. *Bacillus thuringiensis* CryIA protein levels in raw and processed seed of transgenic cotton: determination using insect bioassay and ELISA. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 89, p. 247-251, 1996.

TOSCHKI, A.; HOTHORN, L. A.; ROB-NICKOLL, M. Effects of cultivation of genetically modified Bt maize on epigenic arthropods. **Environmental Entomology**, College Park, v. 36, p. 967-981, 2007.

TURLINGS, T. C.; JEANBOURQUIN, P. M.; HELD, M.; DEGEN, T. Evaluating the induced-odour emission of a Bt maize and its attractiveness to parasitic wasps. **Transgenic Research**, London, v. 14, n. 6, p. 807-816, 2005.

VAN LENTEREN, J. C. (Ed.). **Quality control and production of biological control agents: theory and testing procedures**. Wallingford: Cabi Publishing, 2003.

Circular Técnica, 215

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Milho e Sorgo
Endereço: Rod. MG 424 km 45 Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027 1100
Fax: (31) 3027 1188
www.embrapa.br/fale-conosco
1ª edição
Versão Eletrônica (2015)

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Comitê de publicações

Presidente: Presidente: Sidney Netto Parentoni.
Secretário-Executivo: *Elena Charlotte Landau.*
Membros: *Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria Borges Damasceno, Maria Lúcia Ferreira Simeone, Monica Matoso Campanha, Roberto dos Santos Trindade e Rosângela Lacerda de Castro.*

Expediente

Revisão de texto: *Antonio Claudio da Silva Barros.*
Normalização bibliográfica: *Rosângela Lacerda de Castro.*
Tratamento das ilustrações: *Tânia Mara A. Barbosa.*
Editoração eletrônica: *Tânia Mara A. Barbosa.*