

Resistência de híbridos de milho convencionais e isogênicos transgênicos a *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

Andrea Rocha Almeida de Moraes^(1*); André Luiz Lourenção⁽²⁾; Maria Elisa Ayres Guidetti Zagatto Paterniani⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto Agronômico (IAC), Centro de Grãos e Fibras, Av. Theodureto de Almeida Camargo, 1500, 13075-630 Campinas (SP), Brasil.

⁽²⁾ IAC, Centro de Fitossanidade, 13075-630 Campinas (SP), Brasil.

^(*) Autora correspondente: andrea@iac.sp.gov.br

Recebido: 20/out./2014; Aceito: 24/nov./2014

Resumo

Avaliou-se o efeito dos danos ocasionados por *S. frugiperda* na produtividade de híbridos de milho convencionais e suas versões isogênicas transgênicas com diferentes toxinas Bt, em condições de campo. Experimentos foram instalados nas localidades de Campinas e Mococa, nas safras 2010/2011 e 2011/2012, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com 12 tratamentos e quatro repetições. As variáveis avaliadas foram: produtividade de grãos, massa de cem grãos e rendimento de grãos. Para a avaliação dos danos ocasionados por *S. frugiperda*, verificou-se a intensidade das injúrias foliares por meio de escala visual de notas, com variação de 0 a 9, dos 15 dias até os 60 dias após a semeadura. Menores notas de danos causados por *S. frugiperda* são verificadas em híbridos transgênicos. A maioria dos híbridos convencionais não difere em produtividade de grãos de pelo menos uma de suas versões isogênicas transgênicas. Os mesmos híbridos de milho com toxinas Bt diferentes podem apresentar comportamentos produtivos diferentes em condições de campo. Toxinas Bt diferentes respondem de forma distinta em relação aos danos ocasionados por *S. frugiperda*.

Palavras-chave: *Zea mays* L., lagarta-do-cartucho, milho geneticamente modificado, produtividade.

Resistance of conventional and isogenic transgenic maize hybrids to *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

Abstract

This study evaluated the effect of damage caused by *S. frugiperda* on yield of maize hybrids and their conventional and isogenic transgenic versions, with different Bt toxins, in field conditions. Experiments were conducted in the municipalities of Campinas and Mococa, São Paulo State, Brazil, in the growing seasons of 2010/2011 and 2011/2012, in a randomized complete block design, with 12 treatments and four replications. The variables evaluated were: grain productivity, one hundred grain weight and grain yield. For the assessment of damage caused by *S. frugiperda* was verified the intensity of leaf injuries through visual scale of notes, with variation of 0 and 9, from 15 to 60 days after sowing. Lower scores of damage caused by *S. frugiperda* were found in transgenic hybrids. Most conventional hybrids do not differ in grain productivity from at least one of isogenic transgenic versions. The same maize hybrid with different Bt toxins may have different productive behavior in field conditions. Different Bt toxins respond differently to damage caused by *S. frugiperda*.

Key words: *Zea mays* L., fall armyworm, genetically modified maize, yield.

1. INTRODUÇÃO

Entre as principais pragas da cultura do milho, destaca-se *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), seja pelo dano causado às lavouras, pela frequência de ocorrência ou pela dificuldade de controle com métodos tradicionalmente utilizados (Mendes & Waquil, 2009). Essa praga se alimenta da planta de milho em todas as suas

fases de crescimento, mas tem preferência por cartuchos de plantas jovens (Gallo et al., 2002), podendo causar reduções no rendimento do milho na ordem de 34% e 40% (Fernandes et al., 2003).

A principal estratégia para o controle de *S. frugiperda* tem sido o uso de híbridos de milho que expressam a proteína

inseticida *Bt* (Céleres, 2013). Nesse contexto, o milho *Bt* é caracterizado pela inserção de um ou mais genes da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (*Bt*) em genótipos de milho, que induz a produção de uma ou mais proteínas inseticidas tóxicas para algumas espécies de lepidópteros praga. Assim, nas espigas, o milho *Bt* permite reduzir o ataque de insetos em até 90%, diminuindo, conseqüentemente, a probabilidade de crescimento de fungos através das perfurações provocadas pelos insetos praga (CIB, 2012).

Segundo o relatório anual da International Service for the Acquisition of Agri-Biothec Applications (ISAAA), o Brasil é o segundo maior produtor de transgênicos no mundo, à frente da Argentina e atrás dos EUA (com 70,2 milhões). No Brasil, 90% da área plantada de milho já utiliza algum evento transgênico (ISAAA, 2013).

Na safra de 2013/2014 verificou-se que as cultivares transgênicas para o controle de lagartas atualmente no mercado são resultantes de seis eventos transgênicos: o evento TC 1507 (toxina *Bt* Cry 1F), marca Herculex I[®]; o evento MON 810 (toxina *Bt* Cry 1Ab), marca YieldGard[®]; o evento Bt11 (toxina *Bt* Cry 1Ab), marca Agrisure TL[®]; o evento MIR162 (toxina *Bt* VIP3Aa20), marca TL VIP[®] e dois eventos transgênicos que conferem resistência ao herbicida glifosato aplicado em pós-emergência: o NK603, marca Roundup Ready[®], e o GA 21 – TG (EMBRAPA, 2014).

De acordo com Mendes & Waquil (2009), é possível que o produtor encontre, em condições de campo, respostas diferenciadas em relação ao controle da lagarta-do-cartucho com a utilização de diferentes eventos *Bt*. Dentro do mesmo grupo de insetos, a atividade de cada toxina *Bt* é diferenciada. As toxinas Cry 1A(b) e Cry 1F têm atividade sobre os lepidópteros praga do milho e apresentam alta especificidade a esse grupo, embora estudos toxicológicos revelem diferenças significativas em nível de toxicidade para cada espécie.

Mendes et al. (2011), avaliando parâmetros biológicos da lagarta-do-cartucho alimentada com híbridos de milho *Bt* que expressam a toxina Cry 1A(b) e com seus respectivos isogênicos não *Bt*, verificaram que há interação entre a toxina do *Bt* Cry 1A(b) e a base genética dos híbridos transgênicos quanto à sobrevivência e à biomassa larval de *S. frugiperda*. Poucas são as informações relacionadas ao uso da tecnologia *Bt* e aos diferentes eventos contendo outras toxinas nas condições nacionais, havendo a necessidade de mais estudos em condições de campo para avaliar a eficácia da tecnologia *Bt* comparada a híbridos comerciais não *Bt* (Omoto et al., 2012).

Desse modo, considerando-se a importância de *S. frugiperda* como praga de milho, bem como a escassez de estudos desse inseto em milho com diferentes toxinas *Bt* no Brasil, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da infestação natural de *S. frugiperda* na produtividade de híbridos de milho convencional e de suas versões isogênicas transgênicas com diferentes eventos *Bt*, em dois ambientes em condições de campo.

2. MATERIAL E MÉTODO

Conduziram-se dois experimentos nas seguintes localidades no Estado de São Paulo: no Instituto Agrônomo – IAC, em Campinas [latitude 22°53'20"S, longitude 47°5'34"W e altitude de 600 m; em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico A moderado (LVdf), textura argilosa, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006)], e no Polo Regional Nordeste Paulista – APTA, em Mococa [latitude 21°28"S, longitude 47°01'W e altitude de 665 m; em solo classificado como Argissolo Vermelho eutrófico de textura média – PVe (EMBRAPA, 2006)], nas safras de verão de 2010/2011 e 2011/2012.

O preparo do solo foi realizado de maneira convencional, com uma aração e duas gradagens. O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela apresentava área de 63 m², sendo constituída de oito linhas de 10 m de comprimento, espaçadas a 0,9 m entre si. Foram consideradas parcelas úteis apenas quatro linhas centrais dos híbridos avaliados, excluindo-se 1,5 m de cada extremidade das linhas.

Os tratamentos foram constituídos de 12 híbridos comerciais de milho, sendo cinco na versão convencional: P30F35, DKB390, DAS2B710, Maximus e Impacto, e sete na versão isogênica transgênica: P30F35 YG (toxina *Bt* Cry 1Ab), P30F35 HX (toxina *Bt* Cry 1F), DKB390 YG (toxina *Bt* Cry 1Ab), DKB390 PRO [toxina *Bt* Cry 1A105 (1Ab, 1Ac, 1F) + Cry2Ab2], DAS2B710 HX (toxina *Bt* Cry 1F), Maximus Viptera (toxina *Bt* VIP3Aa20) e Impacto Viptera (toxina *Bt* VIP3Aa20).

Após a realização da análise de solo foram realizadas calagem e adubação para a cultura do milho, de acordo com van Rajj et al. (1997). Em Campinas, foram utilizados 450 kg ha⁻¹ da fórmula 4-14-8 (NPK) no plantio e 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amônia em cobertura; e em Mococa, 300 kg ha⁻¹ da fórmula 20-04-18 (NPK) no plantio e 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amônia em cobertura, aos 30 dias após a emergência das plantas. O controle de plantas daninhas foi realizado, quando necessário, com o uso do herbicida tembotriona (240 ml ha⁻¹) juntamente com a mistura do adjuvante éster metílico de óleo de soja (1,0 l ha⁻¹) e atrazina (1.000 g i.a. ha⁻¹).

Os danos ocasionados por *S. frugiperda* foram avaliados quinzenalmente, a partir dos 15 dias após a semeadura do milho (DAS), estendendo-se até o início do pré-florescimento das plantas de milho (ao redor de 60 DAS). Foram feitas estimativas visuais, ao acaso, de dez plantas por parcela, através da escala visual de notas, com variação entre 0 e 9, adaptada de Wiseman et al. (1966), na qual: 0 = Sem danos visíveis; 1 = Pequenas perfurações em poucas folhas; 2 = Pequenos danos em forma de furos em poucas folhas; 3 = Danos em forma de furos em várias folhas; 4 = Danos em forma de furos em várias folhas e lesões em poucas folhas; 5 = Lesões em várias folhas; 6 = Grandes lesões em

várias folhas; 7 = Grandes lesões em várias folhas e porções comidas (dilaceradas) em poucas folhas; 8 = Grandes lesões e grandes porções comidas (dilaceradas) em várias folhas; 9 = Grandes lesões e grandes porções comidas (dilaceradas) na maioria das folhas. Três avaliadores independentes atribuíram as notas de danos em cada época de avaliação, de modo a obter-se médias finais das notas sem nenhum tipo de tendência.

Ao redor dos 150-160 DAS, colheram-se todas as espigas de duas linhas centrais úteis de cada parcela, quando os híbridos apresentavam umidade ao redor de 18%. Posteriormente, avaliou-se a produtividade de grãos, a massa de cem grãos ao acaso e o rendimento de grãos. Para a produtividade de grãos, obteve-se a massa em kg ha^{-1} dos grãos resultantes da debulha do total de espigas colhidas de duas linhas centrais de cada parcela, sendo os valores obtidos posteriormente corrigidos para 13% de base úmida. A massa de cem grãos, em gramas (g), foi obtida através da contagem e posterior pesagem de cem grãos ao acaso de cada parcela. O rendimento de grãos, em porcentagem (%), foi obtido pelo cálculo da massa total de grãos após a debulha de cada parcela sobre a massa total de espiga sem a palha colhida nessas parcelas.

As análises da variância individuais e conjuntas foram efetuadas com auxílio do Programa Estatístico Genes (Cruz, 2001), em todos os locais avaliados, considerando-se o modelo fixo, sendo as médias agrupadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Estimou-se ainda o coeficiente de correlação linear (r) entre as variáveis de produção produtividade de grãos, massa de cem grãos e rendimento de grãos e as notas de danos ocasionados por *S. frugiperda* em quatro épocas de avaliação (15, 30, 45 e 60 dias), nos 12 híbridos de milho, nas duas safras agrícolas.

Realizaram-se os contrastes ortogonais entre as médias das variáveis através dos valores do teste t para: produtividade de grãos (PG), massa de cem grãos (M100) e rendimento de grãos (REND) entre os híbridos convencionais (P30F35, DKB390, DAS2B710, Maximus e Impacto) e seus isogênicos transgênicos (P30F35 YG, P30F35 HX, DKB390 YG, DKB390 PRO, DAS2B710 HX, Maximus Viptera e Impacto Viptera) da safra de 2010/2011 e 2011/2012. Para os híbridos P30F35 e DKB390, o primeiro contraste testado refere-se à comparação do híbrido convencional com seus dois isogênicos transgênicos, com diferentes eventos *Bt*. Logo, o contraste de interesse é $Y_1 = 2m_1 - m_2 - m_3$. O segundo contraste para esses híbridos refere-se apenas à comparação entre os dois diferentes eventos *Bt* transgênicos, sem levar em conta o híbrido convencional. Assim, o contraste de interesse é $Y_2 = m_2 - m_3$. Para os híbridos DAS2B710, Maximus e Impacto, o único contraste testado refere-se à comparação do híbrido convencional com seu isogênico transgênico. Nesse caso, o contraste de interesse seria $Y_1 = m_1 - m_2$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta evidenciou interação genótipos por local e por ano agrícola, indicando que os resultados deveriam ser apresentados por safra agrícola e por local.

Safra 2010/2011

Os danos provocados por *S. frugiperda* foram mais severos nos híbridos convencionais de milho do que em suas versões transgênicas nas duas localidades (Tabela 1). As maiores notas de danos foliares foram verificadas para os híbridos convencionais P30F35, DKB390 e DAS2B710, tanto em Campinas como em Mococa, aos 60 DAS. Tais valores foram representados por plantas (híbridos não *Bt*) com grandes lesões e furos em várias folhas, enquanto os híbridos *Bt* apresentavam plantas com poucas folhas raspadas a plantas com pequenos furos em poucas folhas.

Mendes et al. (2008), avaliando a incidência e os danos da lagarta-do-cartucho em milho *Bt* e milho não *Bt* em parcelas experimentais sob infestação artificial, também verificaram diferença significativa entre as versões *Bt* e não *Bt* para plantas infestadas. Os autores observaram nos híbridos com versões *Bt* predomínio de plantas com nota 0, enquanto nas versões não *Bt*, predominaram notas acima de 3 e 4, em escala de notas variando de 0 a 5, com nota 0 indicando plantas sem dano e nota 5, plantas com muitas folhas e cartucho totalmente destruído.

Entre os híbridos transgênicos, a menor nota de dano foi verificada nos híbridos contendo a tecnologia Viptera® (toxina *Bt* VIP3Aa20) e Herculex® (toxina *Bt* Cry 1F), em Campinas, e tecnologia Viptera® (toxina *Bt* VIP3Aa20) e YieldGard® (toxina *Bt* Cry 1Ab) em Mococa (Tabela 1).

Michelotto et al. (2011), ao avaliarem os danos ocasionados pela lagarta-do-cartucho em híbridos comerciais de milho convencional e transgênico contendo diferentes tecnologias no controle de lepidópteros praga, utilizando-se escala de notas visuais de danos variando de 0 a 9, observaram que híbridos transgênicos foram menos atacados pela lagarta-do-cartucho e, ainda, que esses híbridos diferiram entre si com relação ao ataque dessa lagarta. Observaram também que os híbridos contendo a tecnologia Herculex® apresentaram as menores notas, portanto, menor ataque em comparação com as notas apresentadas pelos híbridos contendo a tecnologia YieldGard® e Agrisure TL®.

Em Campinas, na safra 2010/2011, os híbridos convencionais, com exceção do DAS2B710, não apresentaram diferença entre 45 e 60 DAS na avaliação de danos ocasionados por *S. frugiperda* (Tabela 1). Já para os transgênicos houve diferença entre os 15 e 30 DAS apenas para os híbridos com tecnologia YieldGard®. Para as tecnologias Herculex® e Viptera® não houve diferença também entre os 45 e 60 DAS, demonstrando que as lagartas chegam a se alimentar desses

Tabela 1. Médias de notas de danos de ataque de *Spodoptera frugiperda* em quatro épocas de avaliação em híbridos de milho convencionais e seus isogênicos transgênicos, na safra de verão de 2010/2011, nas localidades de Campinas, SP, e Mococa, SP

Híbrido	Campinas 2010/2011 ⁽¹⁾			
	Dias após a semeadura (DAS) ⁽¹⁾			
	15	30	45	60
P30F35	1,3 aC	3,9 bB	6,5 aA	6,6 aA
P30F35 YG	0,5 bD	1,1 cC	2,0 cB	2,7 cdA
P30F35 HX	0,4 bC	0,8 cC	1,3 dB	1,9 eA
DKB390	1,4 aC	4,4 bB	6,5 aA	6,6 aA
DKB390 YG	0,4 bD	1,2 cC	2,1 cB	3,1 cA
DKB390 PRO	0,4 bC	0,6 cC	1,3 dB	2,8 cdA
DAS2B710	1,7 aD	5,4 aC	6,2 aB	6,8 aA
DAS2B710 HX	0,3 bB	0,7 cB	1,7 cdA	2,1 deA
Maximus	1,2 aC	4,5 bB	5,3 bA	5,7 bA
Maximus Viptera	0,3 bB	0,6 cB	1,3 dA	1,5 eA
Média	0,8 D	2,3 C	3,4 B	4,0 A
Híbrido	Mococa 2010/2011 ⁽¹⁾			
P30F35	2,4 aD	3,3 abC	4,3 aB	6,5 aA
P30F35 YG	0,5 bC	0,8 dBC	1,4 cB	2,0 defA
P30F35 HX	0,6 bB	1,0 dB	1,0 cB	2,6 cdA
DKB390	2,4 aD	3,9 aC	4,6 aB	6,6 aA
DKB390 YG	0,9 bB	1,2 dB	1,2 cB	1,9 efA
DKB390 PRO	0,4 bC	0,7 dC	1,4 cB	2,9 cA
DAS2B710	2,3 aD	3,1 bC	4,2 abB	6,8 aA
DAS2B710 HX	0,8 bC	1,2 d BC	1,5 cB	2,4 cdeA
Maximus	1,9 aC	2,4 cC	3,6 bB	5,2 bA
Maximus Viptera	0,4 bC	0,7 dBC	1,1 cB	1,7 fA
Média	1,3 D	1,8 C	2,4 B	3,9 A

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras minúsculas distintas nas colunas indicam diferenças estatísticas ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey entre os híbridos; Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas representam diferenças estatísticas ($p < 0,01$) entre as datas de avaliações.

híbridos durante o ciclo da cultura, mas que essa alimentação não evolui, mantendo-se estável desde o início do cultivo dos transgênicos e não acarretando sintomas de danos sérios para as plantas.

De acordo com Soberón et al. (2009), a toxina *Bt* é expressa continuamente nos tecidos da planta, o que explica a eficácia de controle dessa tecnologia durante todo o ciclo das plantas. Os baixos valores de notas obtidas neste trabalho com o tratamento transgênico concordam com relatos da literatura (Fernandes et al., 2003; Waquil et al., 2002).

De modo geral, tanto em Campinas como em Mococa observou-se aumento significativo das notas de danos no decorrer do tempo, mas mais pronunciadas nos híbridos convencionais que em suas versões transgênicas (Tabela 1).

Entre os convencionais, o híbrido Maximus se destacou positivamente, apresentando a menor nota de dano a partir dos 45 DAS, diferindo dos demais híbridos convencionais nas duas localidades (Tabela 1). Esse fato pode ser um indicativo de resistência por não preferência para alimentação nesse híbrido em relação à lagarta-do-cartucho, ou seja, esse genótipo apresenta sinais de ser menos utilizado pelo inseto para alimentação do que os demais genótipos convencionais de milho. Ou, ainda, esse híbrido poderia ser portador de algum fator que conferiria antibiose, matando as lagartas mais precocemente, impedindo assim maiores danos. De

acordo com Panda & Khush (1995), em certos casos é muito difícil separar não preferência para alimentação de antibiose pelo fato de, em casos de pronunciado efeito de compostos químicos, tanto em um como em outro tipo de resistência ocorrerem efeitos na biologia do inseto.

Na produtividade de grãos, na safra de 2010/2011 destacaram-se o híbrido convencional Maximus, seu isogênico transgênico Maximus Viptera e o híbrido transgênico P30F35HX com as maiores produtividades de grãos, diferindo apenas dos híbridos convencionais P30F35, DKB390 e DAS2B710 (Tabela 2). Esses dados reforçam o indicativo de resistência de Maximus à lagarta-do-cartucho, uma vez que, mesmo sofrendo danos pela praga, esse híbrido apresentou produtividade de grãos semelhante ao seu isogênico transgênico e não diferiu dos demais híbridos transgênicos, ou seja, mesmo não apresentando um evento *Bt*, esse híbrido não perdeu tanto em produtividade quanto os demais híbridos convencionais.

Os híbridos convencionais P30F35, DAS2B710 e Maximus não diferiram de pelo menos uma de suas versões isogênicas transgênicas em termos de produtividade de grãos (Tabela 2). Esse fato demonstra que nem sempre um híbrido transgênico é vantajoso em relação a um híbrido convencional, ou seja, na condição de infestação ocorrida de *S. frugiperda*, alguns híbridos *Bt* não permitiram que o

fator praga fosse anulado de forma que o híbrido pudesse expressar todo seu potencial produtivo.

É importante ressaltar que essa tecnologia *Bt* é protetora da produtividade, ou seja, seu uso não aumenta a produtividade, mas tem por finalidade proteger as plantas das pragas para que elas possam expressar ao máximo seu potencial produtivo (Michelotto et al., 2011, 2013). Dessa forma, quanto maior o ataque das lagartas, maior será sua resposta em relação aos híbridos convencionais e, em casos de não ocorrência da praga, os híbridos transgênicos terão a mesma produtividade de seus respectivos híbridos convencionais.

Em relação à massa de cem grãos, o híbrido transgênico Maximus Viptera foi o que teve a maior média, diferindo, no entanto, apenas do híbrido convencional P30F35 (Tabela 2). Quanto ao rendimento de grãos, não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os híbridos avaliados (Tabela 2), com variação de 80,5%, para P30F35HX, até 71,0%, para DKB390 PRO.

Observaram-se correlações lineares significativas entre produtividade de grãos e massa de cem grãos, rendimento de grãos e notas de dano ocasionado por *S. frugiperda* aos 15, 30, 45 e 60 dias (Tabela 3). A partir dessas correlações verifica-se que o aumento da produtividade está associado ao incremento das relações massa de cem grãos e rendimento de grãos e sua redução, com o aumento de notas de danos ocasionados por *S. frugiperda* em todas as épocas de avaliação (Tabela 3).

Todas as notas de danos ocasionados por *S. frugiperda* apresentaram correlação altamente significativa, mostrando consistência entre as avaliações, ou seja, os dados demonstram que os danos ocasionados por *S. frugiperda* em uma época de avaliação acabam por influenciar na época seguinte (Tabela 3).

O contraste ortogonal do híbrido P30F35 demonstra que o híbrido convencional difere de seus dois isogênicos transgênicos para as variáveis produtividade de grãos e massa de cem grãos, mas não no rendimento de grãos (Tabela 4). Quando contrastados apenas os dois eventos transgênicos do híbrido P30F35 (P30F35 YG \times P30F35 HX), verificou-se que ocorrem diferenças na produtividade de grãos entre os diferentes eventos do mesmo híbrido, mas não ocorrem diferenças na massa de cem grãos e no rendimento de grãos desses genótipos (Tabela 4).

Para o híbrido DKB390 observa-se que no contraste entre o híbrido convencional e seus isogênicos transgênicos há diferença entre os híbridos na produtividade de grãos, com pelo menos um evento transgênico apresentando produtividade maior que o híbrido convencional (Tabela 4). Com relação à massa de cem grãos e ao rendimento de grãos, não há diferença pelo teste t entre o híbrido convencional e seus isogênicos transgênicos. Quando se compararam apenas os dois eventos transgênicos do híbrido DKB390 (DKB390 YG \times DKB390 PRO), verificou-se que houve diferença entre os diferentes eventos para produtividade

Tabela 2. Média da produtividade de grãos, da massa de cem grãos e do rendimento de grãos de dez híbridos de milho, em Campinas, SP, e Mococa, SP, na safra de verão de 2010/2011

Híbrido	Produtividade de grãos ⁽¹⁾	Massa de cem grãos ⁽¹⁾	Rendimento de grãos ⁽¹⁾
	kg ha ⁻¹	g	%
P30F35	7.105 cd	34,4 b	76,6 a
P30F35 YG	7.931 abc	38,1 ab	76,0 a
P30F35 HX	8.540 a	38,1 ab	80,5 a
DKB390	6.810 d	38,1 ab	71,6 a
DKB390 YG	8.001 abc	38,8 ab	72,9 a
DKB390 PRO	8.217 ab	37,5 ab	71,0 a
DAS2B710	7.336 bcd	35,6 ab	72,9 a
DAS2B710 HX	7.895 abc	38,1 ab	73,6 a
Maximus	8.716 a	40,0 ab	79,6 a
Maximus Viptera	8.888 a	41,3 a	77,7 a
Média	7.944	38,0	75,3
C.V. (%)	8,0	9,8	11,0

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras minúsculas distintas nas colunas indicam diferenças estatísticas ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey entre os híbridos.

Tabela 3. Correlação linear (r) entre as variáveis de produção, produtividade de grãos (PG), massa de cem grãos (M100) e rendimento de grãos (REND) e as notas de danos ocasionados por *Spodoptera frugiperda* em quatro épocas de avaliação (dias após a semeadura) em dez híbridos de milho, em Campinas, SP, e Mococa, SP, na safra de verão de 2010/2011

	PG	M100	REND	Notas de danos			
				15	30	45	60
PG	-						
M100	0,68*	-					
REND	0,73*	0,34	-				
Notas de danos 15	-0,84**	-0,62	-0,48	-			
Notas de danos 30	-0,91**	-0,65*	-0,58	0,96**	-		
Notas de danos 45	-0,85**	-0,60	-0,55	0,99**	0,97**	-	
Notas de danos 60	-0,83**	-0,64*	-0,53	0,98**	0,97**	0,99**	-

* e ** Significativo pelo teste t a 5% e 1%, respectivamente.

Tabela 4. Valores do teste t dos contrastes ortogonais entre as médias das variáveis: produtividade de grãos (PG), massa de cem grãos (M100) e rendimento (REND) dos híbridos de milho convencionais e seus isogênicos transgênicos da safra de 2010/2011

Híbridos	Contrastes ortogonais	Variáveis		
		PG	M100	REND
P30F35	$Y_1 = 2m_1 - m_2 - m_3$	-7,53**	-2,26*	-0,56 ^{ns}
	$Y_2 = m_2 - m_3$	-4,76**	-1,96 ^{ns}	0,17 ^{ns}
DKB390	$Y_1 = 2m_1 - m_2 - m_3$	-2,10*	0,18 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
	$Y_2 = m_2 - m_3$	-2,36*	-0,32 ^{ns}	-0,33 ^{ns}
DAS2B710	$Y_1 = m_1 - m_2$	-2,05 ^{ns}	-1,31 ^{ns}	-1,89 ^{ns}
Maximus	$Y_1 = m_1 - m_2$	-0,40 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	-0,40 ^{ns}

** e * Significativo a 1% e 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo; Para os contrastes: m_1 = média do híbrido convencional; m_2 = média do híbrido transgênico; m_3 = média do segundo híbrido transgênico (quando houver).

de grãos, mas não para massa de cem grãos e rendimento de grãos (Tabela 4).

O contraste entre a versão convencional e a transgênica do híbrido DAS2B710 e do híbrido Maximus mostrou que não há diferença na produtividade de grãos, na massa de cem grãos e no rendimento de grãos desses genótipos, indicando que esses híbridos apresentam realmente um isogênico transgênico de seu híbrido convencional (Tabela 4), uma vez que as características dos híbridos convencionais e transgênicos são as mesmas, acrescidas apenas do evento *Bt* no caso do híbrido transgênico.

Safra 2011/2012

Na safra agrícola de 2011/2012 verificou-se, como ocorrido na safra 2010/2011, que as maiores notas de dano foliar ocasionado por *S. frugiperda* ocorreram nos híbridos convencionais DKB390 e DAS2B710, em Campinas, na quarta avaliação (60 DAS) (Tabela 5). Em Mococa, as maiores notas foram atribuídas também na quarta avaliação, aos híbridos convencionais P30F35, DKB390 e DAS2B710, e a menor, aos híbridos transgênicos.

Tabela 5. Média de notas de danos de ataque de *Spodoptera frugiperda* em quatro épocas de avaliação, em híbridos de milho convencionais e seus isogênicos transgênicos, na safra de verão de 2011/2012, nas localidades de Campinas, SP, e Mococa, SP

Híbrido	Campinas 2011/2012 ⁽¹⁾			
	Dias após a semeadura (DAS) ⁽¹⁾			
	15	30	45	60
P30F35	2,2 aD	3,4 aC	4,1 aB	4,8 bcA
P30F35 YG	0,3 bC	1,4 cdB	2,5 cdA	2,5 eA
P30F35 HX	0,2 bC	1,3 dB	1,6 fB	2,6 eA
DKB390	2,1 aD	3,5 aC	4,6 aB	5,4 abA
DKB390 YG	0,2 bC	1,6 cdB	2,4 cdeA	2,6 eA
DKB390 PRO	0,1 bC	1,7 cdB	2,2 deA	2,4 eA
DAS2B710	2,0 aD	3,4 aC	4,3 aB	5,7 aA
DAS2B710 HX	0,2 bC	2,0 bcB	2,9 bcA	3,3 dA
Impacto	1,8 aD	2,4 bC	3,4 bB	4,5 cA
Impacto Viptera	0,1 bC	1,5 cdB	1,8 efB	2,3 eA
Média	0,9 D	2,2 C	3,0 B	3,6 A
Híbrido	Mococa 2011/2012 ⁽¹⁾			
P30F35	2,1 abcD	3,3 abC	4,6 aB	5,4 aA
P30F35 YG	0,8 efC	1,7 deB	2,4 cdA	2,7 cdA
P30F35 HX	1,3 defB	1,7 deB	2,5 cdA	2,8 cdA
DKB390	2,4 abD	3,6 aC	4,5 aB	5,3 aA
DKB390 YG	1,4 cdeB	2,2 cdA	2,3 cdA	2,5 dA
DKB390 PRO	0,6 fB	2,2 cdA	2,5 cdA	2,7 cdA
DAS2B710	2,6 aC	3,3 abB	4,8 aA	5,3 aA
DAS2B710 HX	1,0 efC	2,6 bcB	3,0 cAB	3,3 cA
Impacto	1,9 bcdC	3,1 abB	3,8 bA	4,3 bA
Impacto Viptera	1,0 efB	1,3 eB	2,1 dA	2,2 dA
Média	1,5 D	2,5 C	3,2 B	3,6 A

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras minúsculas distintas nas colunas indicam diferenças estatísticas ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey entre os híbridos; Médias seguidas de letras maiúsculas distintas nas linhas representam diferenças estatísticas ($p < 0,01$) entre as datas de avaliações.

O híbrido convencional Impacto diferiu dos demais híbridos convencionais nos danos ocasionados pela lagarta-do-cartucho, em Campinas, a partir da segunda avaliação de dano (45 DAS), e, em Mococa (2011/2012) a partir da terceira avaliação (Tabela 5). Houve infestação de *S. frugiperda* durante todo o ciclo da cultura, em todos os tratamentos (Tabelas 1 e 5). Assim, é esperado algum dano do tipo “raspagem” nas folhas dos milhos transgênicos, uma vez que, para ser controlado, o inseto deve ingerir a toxina Cry1Ab, por ocasião da herbivoria (Waquil et al., 2002).

Mendes et al. (2008) relatam que nas plantas de versão *Bt*, mesmo onde há sobrevivência inicial de lagarta-do-cartucho, o dano não evolui ao seu nível de prejuízo significativo, aquele que ultrapassa nota 3 em uma escala variando de 0 a 5.

Observa-se que há diferença entre os danos ocasionados pela lagarta-do-cartucho entre os diferentes eventos *Bt* aos 60 DAS, nas duas localidades avaliadas, na safra de 2011/2012 (Tabela 5). Esse dado demonstra que os eventos *Bt* influem de forma diferente em relação aos danos ocasionados por *S. frugiperda*. De acordo com Mendes & Waquil (2009), é possível que o produtor encontre, em condições de campo, respostas diferenciadas em relação ao controle da lagarta-do-cartucho com a utilização de eventos diferentes. Dentro do mesmo grupo de insetos, a atividade de cada toxina é diferenciada. As toxinas Cry 1A(b) e Cry 1F têm atividade sobre os lepidópteros praga do milho e apresentam alta especificidade a esse grupo, embora estudos toxicológicos revelem diferenças significativas em nível de toxicidade para cada espécie.

Considerando-se as duas safras agrícolas, verifica-se que a produtividade dos híbridos foi maior na safra 2011/2012 (9.086 kg ha⁻¹) do que na de 2010/2011 (7.944 kg ha⁻¹) (Tabelas 2 e 6). A tecnologia Viptera® (toxina *Bt* VIP3Aa20) mostrou-se de alta produtividade também na segunda safra

Tabela 6. Média da produtividade de grãos, da massa de cem grãos e do rendimento de grãos de dez híbridos de milho, em Campinas, SP, e Mococa, SP, na safra de verão de 2011/2012

Híbrido	Produtividade de grãos ⁽¹⁾	Massa de cem grãos ⁽¹⁾	Rendimento de grãos ⁽¹⁾
	kg ha ⁻¹	g	%
P30F35	8.587 cd	37,5 a	82,3 a
P30F35 YG	8.939 bcd	38,4 a	78,4 b
P30F35 HX	9.499 ab	40,6 a	84,5 a
DKB390	8.336 d	37,6 a	82,0 a
DKB390 YG	8.932 bcd	37,1 a	78,9 b
DKB390 PRO	9.545 ab	39,5 a	81,7 a
DAS2B710	8.556 cd	38,9 a	78,2 b
DAS2B710 HX	9.015 bc	35,6 a	78,9 b
Impacto	9.453 ab	38,8 a	81,9 a
Impacto Viptera	10.000 a	41,3 a	87,5 a
Média	9.086	38,5	81,5
C.V. (%)	4,4	8,2	6,1

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras minúsculas distintas nas colunas indicam diferenças estatísticas ($p < 0,01$) pelo teste de Tukey entre os híbridos.

estudada, tendo a versão transgênica e convencional também apresentado produtividade de grãos semelhante (Tabela 6). O híbrido Impacto Viptera apresentou maior produtividade de grãos, diferindo dos híbridos transgênicos P30F35 YG, DKB390 YG e DAS2B710 HX e dos híbridos convencionais P30F35, DKB390 e DAS2B710 (Tabela 6).

Pesquisas realizadas nos EUA indicaram que quando se compara a produção de cultivares semelhantes, transgênicos e convencionais, constata-se que, controlando outros fatores, em condições onde não há pressão de pragas no desenvolvimento das lavouras, a produtividade do cultivo convencional é igual ou ligeiramente superior à produtividade do cultivo do transgênico (Nill, 2003). Isso pôde ser observado entre os híbridos contendo a tecnologia Viptera®, nas duas safras agrícolas, nas quais não houve diferença em termos de produtividade, nessas condições de infestação de *S. frugiperda* (Tabelas 2 e 6).

Não houve diferença significativa entre os híbridos avaliados para massa de cem grãos nessa safra agrícola. No rendimento de grãos, verificou-se que os híbridos Impacto Viptera, Impacto, DKB390 PRO, DKB390, P30F35 HX e P30F35 foram os genótipos que apresentaram maior rendimento, diferindo dos híbridos P30F35 YG, DKB390 YG, DAS2B710 e DAS2B710 HX (Tabela 6).

As correlações lineares foram significativas entre a produtividade e os demais caracteres avaliados, exceto para massa de cem grãos, na safra de 2011/2012 (Tabela 7). Verifica-se que o aumento da produtividade está associado ao incremento das relações rendimento de grãos e, sua redução, com o aumento de notas de danos ocasionados por *S. frugiperda* em todas as épocas de avaliação (Tabela 7). As notas de danos ocasionados por *S. frugiperda* apresentaram novamente alta correlação significativa, mostrando que os danos ocasionados pela lagarta em uma época de avaliação acabam refletindo-se no aumento do dano na época seguinte (Tabela 7).

No contraste ortogonal do híbrido P30F35 verifica-se que o híbrido convencional difere de seus dois isogênicos transgênicos (P30F35 YG e P30F35 HX) para a variável produtividade de grãos, mas não para massa de cem grãos e rendimento de grãos (Tabela 8). Quando contrastados apenas os dois eventos transgênicos do híbrido P30F35 (P30F35 YG × P30F35 HX) verificou-se que ocorrem diferenças na produtividade de grãos entre os eventos *Bt* do mesmo híbrido mas não ocorrem diferenças na massa de cem grãos e no rendimento de grãos desses genótipos (Tabela 8).

No híbrido DKB390 nota-se que há diferença entre os híbridos na produtividade de grãos no contraste entre o híbrido convencional e seus isogênicos transgênicos, com pelo menos um dos eventos transgênicos apresentando produtividade maior que o híbrido convencional (Tabela 8). Para a massa de cem grãos e rendimento de grãos, não houve diferença entre o híbrido convencional e seus isogênicos transgênicos. No contraste entre os dois eventos transgênicos

Tabela 7. Correlação linear (r) entre as variáveis de produção, produtividade de grãos (PG), massa de cem grãos (M100) e rendimento de grãos (REND) e as notas de danos ocasionados por *Spodoptera frugiperda* em quatro épocas de avaliação (dias após a semeadura), em dez híbridos de milho, em Campinas, SP, e Mococa, SP, na safra de verão de 2011/2012

	PG	M100	REND	Notas de danos			
				15	30	45	60
PG	-						
M100	0,59	-					
REND	0,63*	0,55	-				
Notas de Dano 15	-0,73*	-0,25	-0,28	-			
Notas de Dano 30	-0,73*	-0,40	-0,37	0,90**	-		
Notas de Dano 45	-0,70*	-0,30	-0,34	0,96**	0,97**	-	
Notas de Dano 60	-0,69*	-0,21	-0,29	0,96**	0,95**	0,97**	-

* e **Significativo pelo teste t a 5% e 1%, respectivamente.

Tabela 8. Valores do teste t dos contrastes ortogonais entre as médias das variáveis: produtividade de grãos (PG), massa de cem grãos (M100) e rendimento (REND) dos híbridos de milho convencionais e seus isogênicos transgênicos da safra de 2011/2012

Híbridos	Contrastes ortogonais	Variáveis		
		PG	M100	REND
P30F35	$Y_1 = 2m_1 - m_2 - m_3$	-5,11**	-1,57 ^{ns}	0,37 ^{ns}
	$Y_2 = m_2 - m_3$	-2,47*	-0,66 ^{ns}	1,79 ^{ns}
DKB390	$Y_1 = 2m_1 - m_2 - m_3$	-4,74**	-0,51 ^{ns}	0,65 ^{ns}
	$Y_2 = m_2 - m_3$	-2,71*	0,32 ^{ns}	1,03 ^{ns}
DAS2B710	$Y_1 = m_1 - m_2$	-2,47*	1,53 ^{ns}	-0,31 ^{ns}
Impacto	$Y_1 = m_1 - m_2$	-3,71**	-2,45*	-3,20*

** e * Significativo a 1% e 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo; Para os contrastes: m_1 = média do híbrido convencional; m_2 = média do híbrido transgênico; m_3 = média do segundo híbrido transgênico (quando houver).

Bt do híbrido DKB390 (DKB390 YG × DKB390 PRO) verificou-se que houve diferença também entre os eventos para produtividade de grãos mas não para massa de 100 grãos e rendimento de grãos (Tabela 8).

O contraste entre o híbrido convencional e o transgênico do DAS2B710 mostrou que houve diferença entre convencional e transgênico para a produtividade de grãos mas não para a massa de cem grãos e rendimento de grãos desses genótipos (Tabela 8). No caso do híbrido Impacto, verificou-se que a versão convencional e transgênica diferiram na produtividade de grãos, na massa de cem grãos e no rendimento de grãos (Tabela 8).

4. CONCLUSÃO

Há desempenhos diferentes entre os híbridos em relação ao ataque de *S. frugiperda*.

Menores notas de danos causados por *S. frugiperda* são verificadas em híbridos transgênicos.

A maioria dos híbridos convencionais não difere em produtividade de grãos de pelo menos uma de suas versões isogênicas transgênicas.

Produtividades maiores são obtidas pelos híbridos com a tecnologia Viptera[®] e as menores, pelo híbrido convencional DKB390.

Híbridos convencionais Maximus e Impacto, como também os híbridos transgênicos, apresentam pouca redução na produtividade quando infestados por *S. frugiperda*.

Mesmo híbridos de milho com toxinas *Bt* diferentes podem apresentar comportamentos produtivos diferentes em condições de campo.

Toxinas *Bt* diferentes respondem de forma distinta aos danos ocasionados por *S. frugiperda*.

REFERÊNCIAS

- Céleres (2013). Os benefícios econômicos da biotecnologia agrícola no Brasil: 1996/97 a 2012/13. Recuperado em 10 de dezembro de 2013, de http://celeres.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2014/01/PressRelease2013_Economico.pdf.
- Conselho de Informações sobre Biotecnologia – CIB. (2012). O que você precisa saber sobre transgênicos. Recuperado em 17 de janeiro de 2014, de http://cib.org.br/wp-content/uploads/2012/08/Guia_Transgenicos_2012.pdf.
- Cruz, C. D. (2001). Aplicativo computacional em genética e estatística – Programa Genes. Viçosa: UFV.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2006). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos (2nd ed.). Rio de Janeiro: EMBRAPA.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2014). Milho - cultivares para 2013/2014. Recuperado em 8 de maio de 2014, de <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/>.
- Fernandes, O. D., Parra, J. R. P., No., A. F., Pícoli, R., Borgatto, A. F., & Demétrio, C. G. B. (2003). Efeito do milho geneticamente modificado MON810 sobre a lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. SMITH, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 2, 25-35.
- Gallo, D., Nakano, O., Silveira, S., No., Carvalho, R.P.L., Batista, G.C., Berti, E., Fo., Parra, J.R.P., Zucchi, R.A., Alves, S.B., Vendramin, J.D., Marchini, L.C., Lopes, J.R.S., & Omoto, C. (2002). *Entomologia Agrícola*. Piracicaba: FEALQ.
- International Service for the Acquisition of Agri-Biothec Applications – ISAAA. (2013). Brief 46: Global Status of Commercialized Biotech/ GM Crops: 2013. Recuperado em 13 de abril de 2014, de <http://www.isaaa.org/default.asp>.
- Mendes, S. M., & Waquil, J. M. (2009). Uso do milho Bt no manejo integrado de lepidópteros-praga: recomendações de uso (Comunicado técnico, 170). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.
- Mendes, S. M., Boregas, K. G. B., Lopes, M. E., Waquil, M. S., & Waquil, J. M. (2011). Respostas da lagarta-do-cartucho a milho geneticamente modificado expressando a toxina Cry 1A(b). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, 239-244.
- Mendes, S. M., Marucci, R. C., Moreira, S. G., & Waquil, J. M. (2008). Milho Bt: avaliação preliminar da resistência de híbridos comerciais à lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Comunicado técnico, 157). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.
- Michelotto, M. D., Crosariol, J., No., Freitas, R. S., Duarte, A. P., & Busoli, A. C. (2013). Milho transgênico (*Bt*): efeito sobre pragas-alvo e não-alvo. *Nucleus*, 3, 67-82. <http://dx.doi.org/10.3738/nucleus.v0i0.903>.
- Michelotto, M. D., Pereira, A. D., Finoto, E. L., & Freitas, R. S. (2011). Controle de pragas em híbridos de milho geneticamente modificados. *Pesquisa & Tecnologia*, 8, 36-38.
- Nill, K. (2003). *Correcting the mithsa: presenting the truth about why U.S. farmers have adopted biotechnology*. St. Louis: American Soybean Association.
- Omoto, C., Bernardi, O., Salmeron, E., Farias, J. R., & Bernardi, D. (2012). Estratégias de manejo da resistência e importância das áreas de refúgio para tecnologia Bt. In M. E. A. G. Z. Paterniani, A. P. Duarte, & A. Tsunehiro. *Diversidade e inovações na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos* (p. 303-314). Campinas: Instituto Agrônomo. Associação Brasileira de Milho e Sorgo.
- Panda, N., & Khush, G. S. (1995). Host plant resistance to insects (Bulletin of Entomological Research, 86). Wallingford: CAB International.
- Soberón, M., Gill, S. S., & Bravo, A. (2009). Signaling versus punching hole: How do *Bacillus thuringiensis* toxins kill insect midgut cells? *Cellular and molecular life sciences: CMLS*, 66, 1337-1349. <http://dx.doi.org/10.1007/s00018-008-8330-9>. PMID:19132293
- van Raij, B., Cantarella, H., Quaggio, J. A., & Furlani, A. M. C. (1997). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo* (Boletim técnico, 100). Campinas: Instituto Agrônomo.
- Waquil, J. M. L., Villela, F. M. F., & Foster, J. E. (2002). Resistência do milho (*Zea mays* L.) transgênico (Bt) à lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 1, 1-11.
- Wiseman, B. R., Painter, R. H., & Wasson, C. E. (1966). Detecting corn seedling differences in the greenhouse by visual classification of damage by the fall armyworm. *Journal of Economic Entomology*, 59, 1211-1214.