



**RAFAEL PARREIRA DINIZ**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE  
HÍBRIDOS DE MILHO TRANSGÊNICOS E  
RESPECTIVOS ISOGÊNICOS NÃO  
TRANSGÊNICOS**

**LAVRAS – MG**

**2011**

**RAFAEL PARREIRA DINIZ**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE MILHO  
TRANSGÊNICOS E RESPECTIVOS ISOGÊNICOS NÃO  
TRANSGÊNICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Renzo Garcia Von Pinho

Coorientadores

Dr. José Airton Rodrigues Nunes

Dra. Livia Maria Chamma Davide

**LAVRAS – MG**

**2011**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Diniz, Rafael Parreira.

Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho transgênicos e respectivos isogênicos não transgênicos / Rafael Parreira Diniz. – Lavras : UFLA, 2011.

53 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Renzo Garcia Von Pinho.

Bibliografia.

1. *Zea mays*. 2. Milho *Bt*. 3. Transgenia. 4. Resistência a insetos. 5. Interação genótipo-ambiente. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.523

**RAFAEL PARREIRA DINIZ**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE HÍBRIDOS DE MILHO  
TRANSGÊNICOS E RESPECTIVOS ISOGÊNICOS NÃO  
TRANSGÊNICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2011.

Dr. Antônio Alves Soares UFLA

Dr. José Airton Rodrigues Nunes UFLA

Dr. Renzo Garcia Von Pinho  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2011**

*aos meus pais, Rondon e Roseli, e aos meus irmãos, Fabíola e Geraldo*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

A meus pais, pelo apoio incondicional, amor, carinho e dedicação prestados a mim durante toda vida.

Aos meus irmãos, Fabíola e Geraldo, pelos fortes laços de amizade e amor

A todos os meus familiares, pelo apoio.

Ao professor Renzo Garcia Von Pinho, pela orientação e confiança depositados em mim, para a condução desse trabalho e pela contribuição para o aprimoramento profissional e pessoal.

Aos professores José Airton Rodrigues Nunes e Livia Maria Chamma Davide pelos ensinamentos transmitidos e auxílio no preparo da dissertação

Ao CNPq, por conceder a bolsa de estudos.

Aos demais professores de Genética e Melhoramento de Plantas, Magno, João Cândido, João Bosco, Flávia, Elaine e a pesquisadora Ângela, pelos ensinamentos transmitidos durante o curso.

Aos amigos Wagner, Felipe, William, Pedro e Mateus, pela condução dos ensaios.

Aos amigos do milho, pelo convívio e auxílio na condução dos experimentos.

Aos amigos do GEN, pelas sugestões e contribuições para esse trabalho.

Aos amigos de “estudos”, pela ajuda com as disciplinas.

Aos amigos de Lavras e pós-graduação pelo convívio.

A amiga Marcela e seus familiares pelo incentivo para que eu pudesse entrar no curso de Genética e Melhoramento de Plantas.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram direta e indiretamente para o êxito desse trabalho.

**Muito obrigado!**

## RESUMO

Com o avanço da disponibilidade e cultivo de híbridos de milho transgênicos, torna-se necessário estudar o comportamento desses híbridos, comparados com os respectivos isogênicos convencionais. Essa pesquisa teve como objetivo verificar se há diferenças entre híbridos de milho transgênicos com gene *Bt*, que confere resistência a insetos da ordem Lepidoptera, e respectivos isogênicos convencionais em relação à estabilidade fenotípica e caracteres agrônômicos. Foram conduzidos ensaios em quatro locais da região Sul de Minas Gerais, Campo do Meio, Lavras, Madre de Deus e Paraguaçu. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições e os tratamentos dispostos em esquema fatorial 6x2, sendo seis híbridos (AG8060, AG8088, DKB185, IMPACTO, MAXIMUS E P30F53) e dois tipos (convencional e transgênico). Foram avaliadas as características altura de planta, altura de espiga, produtividade de grãos, florescimento masculino, florescimento feminino e o stay-green. Para estimar a estabilidade dos genótipos utilizaram-se as metodologias de Anicchiario (1992) e Wricke (1965). A altura de plantas dos híbridos varia em função do tipo de híbrido (convencional ou transgênico); de modo geral, os híbridos transgênicos possuem maiores alturas de plantas que os híbridos convencionais. A produtividade de grãos e a altura de espiga dos híbridos transgênicos e seus respectivos isogênicos convencionais, foram semelhantes, independentemente do local e da aplicação de inseticida. Dependendo do híbrido utilizado, há diferenças na estabilidade fenotípica entre híbridos transgênicos com tecnologia *Bt* e seus respectivos isogênicos convencionais. O híbrido mais estável foi o Maximus, na versão convencional, pelo método de Wricke, enquanto que pelo método de Anicchiario, o híbrido mais estável foi o AG8088 na versão transgênica.

Palavras-chave: *Zea mays*. Transgenia. Milho *Bt*. Resistência a insetos. Interação genótipos x ambientes.

## ABSTRACT

With the advance of the availability and the cultivation of transgenic corn hybrids, it becomes necessary to study the performance of these hybrids compared to their near-isogenic conventional. This study aimed at determining whether there are differences between transgenic corn hybrids with *Bt* gene, which confers resistance to insects of the Lepidoptera order, and their near-isogenic conventional regarding the phenotypic stability and agronomic traits. Experiments were conducted at four locations in southern Minas Gerais, Campo do Meio, Lavras, Madre de Deus and Paraguaçu. The design was a randomized block with three replications and treatments arranged in a 6x2 factorial, six hybrids (AG8060, AG8088, DKB185, IMPACT, AND MAXIMUS P30F53) and two types (conventional and transgenic). The characteristics evaluated were plant height, ear height, grain yield, male and female flowering and stay-green. To estimate the stability of the genotypes the methodologies of Anicchiarico (1992) and Wricke (1965) were followed. Plant height of hybrids varies depending on the type of hybrid (conventional or transgenic); in general, the transgenic hybrid plants have larger heights than the conventional hybrid. The grain yield and ear height of transgenic hybrids and their near-isogenic conventional were similar, regardless of location and the application of insecticide. Depending on the hybrid used, there are phenotypic differences in stability between hybrids with transgenic *Bt* technology and their near-isogenic conventional. The more stable hybrid was Maximus, in conventional version and in accordance with Wricke's method, while following Anicchiarico's method the most stable hybrid was the AG8088 in transgenic version.

Keywords: *Zea mays*. Transgenic. *Bt* corn. Insect resistance. Genotypes by environments interaction.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
2.1	Milho.....	11
2.2	Obtenção de plantas geneticamente modificadas .....	13
2.3	Transgênicos no Brasil.....	14
2.4	Milho transgênico com tecnologia <i>Bt</i> .....	15
2.5	Transgênicos <i>versus</i> não-transgênicos.....	17
2.6	Interação genótipos por ambientes .....	19
2.7	Estabilidade e adaptabilidade fenotípica.....	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
5	CONCLUSÕES .....	43
	REFERÊNCIAS .....	44
	ANEXOS .....	51

## 1 INTRODUÇÃO

O milho é um importante cereal utilizado na alimentação humana e animal, cultivado em diversos países, sendo uma importante fonte de divisas. Em função de sua importância alimentar e econômica, para a cultura do milho são destinados muitos investimentos em pesquisa, a fim de incorporar novas tecnologias para o seu cultivo. Dentre as tecnologias empregadas, a transgenia ou tecnologia do DNA recombinante tem sido utilizada com frequência para essa espécie.

Atualmente, são dezenas o número de eventos transgênicos aprovados no Brasil, por conseguinte, o número de cultivares disponíveis no mercado para plantio teve um incremento significativo. Dentre as cultivares de milho transgênicas disponíveis para plantio e comercialização no Brasil, destacam-se aquelas pertencentes aos eventos MON 810 (marca registrada YieldGard) e BT 11 (marca registrada TL), ambos com resistência a insetos da ordem Lepidoptera.

As cultivares transgênicas disponíveis no mercado são obtidas a partir de cultivares convencionais, diferindo apenas quanto a incorporação do evento transgênico. A inserção dos genes de interesse no genoma de outra espécie é aleatório, podendo promover alterações no comportamento da planta relacionado à morfologia e a adaptabilidade. Para que as cultivares transgênicas sejam disponibilizadas para cultivo há a necessidade de avaliá-las quanto à adaptabilidade e estabilidade, dentre outras características, e comparar os resultados obtidos com as versões isogênicas convencionais dessas cultivares.

Em programas de melhoramento de plantas, o estudo da interação genótipos por ambientes é de extrema importância, contudo, esse estudo não proporciona informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo perante as variações ambientais. Visando atenuar esse problema, são

realizadas análises de estabilidade e adaptabilidade, com as quais se torna possível identificar cultivares de comportamento previsível e que respondam às variações ambientais, em condições específicas ou amplas.

As análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica tem por objetivo avaliar o desempenho de uma determinada cultivar perante o desempenho de outras cultivares, em diferentes ambientes e anos. Diversos fatores influenciam essas duas propriedades, dentre eles, a resistência a insetos, a qual pode estar associada com o desempenho estável ou instável. Por conseguinte, as cultivares transgênicas com o gene *Bt* podem ter comportamento diferentes em relação as suas respectivas versões convencionais.

Na literatura são encontrados resultados de análises de estabilidade fenotípica para diferentes culturas, dentre elas o milho. Contudo, resultados dessas análises comparando cultivares transgênicas com suas respectivas versões convencionais são escassos.

Diante do exposto, nesse trabalho objetivou-se avaliar caracteres agronômicos e comparar a estabilidade e adaptabilidade de híbridos de milho transgênicos com suas respectivas versões convencionais na região Sul de Minas Gerais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence à tribo *Maydae*, subfamília *Panicoideae* e família *Poaceae*. Na literatura é relatado que o milho possui um histórico de mais de oito mil anos nas Américas, e é cultivado desde o período pré-colombiano. Essa cultura é uma das plantas superiores mais bem caracterizadas cientificamente, sendo hoje a espécie cultivada que atingiu o mais elevado grau de domesticação, só sobrevivendo na natureza quando cultivado pelo homem (BAHIA FILHO; GARCIA, 2000).

O milho destaca-se como um dos principais cereais cultivados em todo o mundo devido à sua multiplicidade de aplicações, quer na alimentação humana, quer na alimentação animal, assim como para a produção de etanol. Sendo assim, assume relevante papel socioeconômico, além de se constituir em indispensável matéria-prima impulsionadora de diversos complexos agroindustriais (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). Nos últimos anos, o Brasil se firmou como um grande produtor e exportador de proteína animal, especialmente a carne de suínos e aves, animais que têm no milho a base de sua dieta de arração. Nesse contexto, o milho é um produto estratégico e seu fornecimento regular nos próximos anos pode assegurar a competitividade das cadeias produtivas de carne, em especial suínos e aves.

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, com uma produção de aproximadamente 50 milhões de toneladas no ano de 2009, atrás somente dos Estados Unidos da América (282 milhões de toneladas) e da China (139 milhões de toneladas) (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2009). Em termos de produção, o milho ocupa a segunda posição na lista das maiores culturas nacionais, enquanto a soja,

o primeiro (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010).

Dentre os fatores que afetam a produtividade do milho, o ataque de insetos-pragas, principalmente da ordem Lepidoptera, causa perdas significativas (CRUZ; VIANA; WAQUIL, 2007). Deve-se ressaltar que maiores perdas podem ocorrer nos trópicos.

A ocorrência de insetos nos trópicos é maior do que em regiões temperadas onde os danos causados são mais acentuados. Dentre as pragas mais importantes do milho, destaca-se a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). Outras espécies da ordem Lepidoptera também são pragas importantes da cultura do milho, como a lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*) e a lagarta-do-colmo (*Diatrea saccharalis*). No Brasil a lagarta do cartucho pode reduzir a produção em até 34% e a lagarta da espiga pode comprometer cerca de 8% do rendimento (CRUZ; VIANA; WAQUIL, 2007).

Devido à perda significativa na produtividade de grãos por esses insetos-praga, a ação destes deve ser controlada, sendo o uso de produtos químicos o método mais empregado (CONCEIÇÃO, 2004). Esse método de controle além de elevar o custo de produção, quando realizado de forma inadequado, pode causar sérios problemas ao meio ambiente. Outra medida de controle de pragas seria o uso de cultivares resistentes.

A obtenção de cultivares de milho resistentes a insetos, por meio de melhoramento genético clássico, é relatado na literatura (WAQUIL; VILLELA; FOSTER, 2002). Esses autores relatam que nos últimos 15 anos, aproximadamente 30 cultivares resistentes à *Spodoptera frugiperda* foram registradas e distribuídas. Entretanto, a maioria dessas fontes de resistência é proveniente do grupo Antigua e tem a base genética muito estreita (WILLIAMS et al., 1997). Não tem sido encontradas outras fontes com alto nível de resistência à lagarta do cartucho (WAQUIL; VILLELA; FOSTER, 2002). Uma

boa alternativa ao melhoramento clássico seria o uso da tecnologia do DNA recombinante para a obtenção de plantas geneticamente modificadas (PGM's), visando aumentar a tolerância de materiais genéticos a essas pragas. Cultivares de milho transgênico resistentes a insetos-praga constituem ferramentas potentes para o manejo destas na cultura, podendo ser inseridas nos diferentes sistemas de produção, reduzindo os prejuízos ocasionados pelas pragas (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2010).

## **2.2 Obtenção de plantas geneticamente modificadas**

De todas as novas tecnologias empregadas na produção agrícola, nenhuma tem despertado tanto interesse e causado tanta discussão como o cultivo de PGM's, conhecidas como transgênicas (SIQUEIRA et al., 2004).

A tecnologia do DNA recombinante possibilitou a utilização de grande parte da variabilidade genética existente na natureza, por meio da incorporação de genes de uma espécie no genoma de outra sem o concurso da reprodução sexual (PATERNIANI, 2001). As técnicas assexuadas de transferência de genes têm auxiliado para a construção de novos caracteres que são de outra forma, muito difíceis de serem introduzidos pelo melhoramento convencional (JAUHAR, 2006).

Para a obtenção de uma planta transgênica, um determinado gene pode ser introduzido no genoma da espécie desejada por meio da biobalística ou pelo método da *Agrobacterium tumefaciens*, entre outros métodos (TWYMAN; CHRISTOU; STÖGER, 2002).

Na transformação via bombardeamento de partículas ou biobalística, micropartículas de metal cobertas com o gene de interesse são aceleradas em direção às células-alvo, utilizando equipamentos conhecidos como "gen gun" ou canhão gênico (SANFORD et al., 1987), com velocidades suficientes para

penetrar a parede celular e não causar morte da célula. As principais vantagens do uso da biobalística estão relacionadas com a utilização de vetores simples e de fácil manipulação, além da possibilidade de inserção de mais de um gene de interesse nas células de maneira eficiente (CHEN et al., 1998; WU et al., 2002). Embora seja considerado um método de transformação muito eficiente para o milho, uma possível desvantagem é a ocorrência de múltiplas cópias do transgene e de complexos padrões de integração suscetíveis ao silenciamento da expressão gênica nas gerações futuras (WANG; FRAME, 2004).

A transformação por meio da *A. tumefaciens* também é utilizada para transformar monocotiledôneas (TWYMAN; CHRISTOU; STÖGER, 2002). A *Agrobacterium* é uma bactéria do solo capaz de causar tumores vegetais na região de infecção. Estes tumores resultam da transferência do T-DNA presente no plasmídeo Ti para a célula vegetal. Em processos biotecnológicos de transferência gênica, os genes endógenos do T-DNA causadores de tumor são substituídos por genes exógenos de interesse. *A. tumefaciens* constitui um excelente sistema de introdução de genes em células vegetais uma vez que produz transformantes com poucas cópias do transgene e a integração do T-DNA é um processo relativamente preciso. A região do DNA a ser transferida está definida pelas sequências flanqueadoras, extremidades direita e esquerda. A maioria das vezes a região é inserida intacta no genoma da planta, entretanto, ocasionalmente, reordenações são produzidas.

### **2.3 Transgênicos no Brasil**

Em 2010, as culturas biotecnológicas no Brasil ocuparam 25,4 milhões de hectares, uma expansão de 4 milhões de hectares em relação à safra anterior. Desses 25,4 milhões de hectares, 17,8 milhões de hectares foram plantados com a soja RR<sup>®</sup>, 7,3 milhões de hectares com o milho *Bt*, na safra de verão e safrinha.

Essa área representou 55% da área total plantada com milho no país (JAMES, 2008).

Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, sexto maior produtor de algodão e o terceiro maior produtor de milho, sendo que as primeiras variedades de milho GM foram liberadas para o plantio em 2008. De modo geral, o Brasil se tornou um líder mundial na adesão de lavouras GM, com um crescimento significativo contínuo em hectares cultivados com soja RR<sup>®</sup>, rápida expansão em algodão *Bt* complementado com tolerância a herbicida e oportunidades substanciais para o milho *Bt* (JAMES, 2009).

No Brasil, as plantas geneticamente modificadas autorizadas para produção comercial são pertencentes a 28 eventos (CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA - CIB, 2011). Para a soja, são cinco eventos aprovados, para o algodão, oito eventos e para o milho são quinze eventos aprovados.

Dentre os eventos aprovados para a cultura do milho, destacam-se o MON810 e o BT11, ambos com resistência ao ataque de insetos da ordem Lepidoptera.

#### **2.4 Milho transgênico com tecnologia *Bt***

O termo *Bt* é usado para indicar proteínas extraídas da bactéria *Bacillus thuringiensis* que está presente naturalmente no solo em todo o mundo (CIB, 2002). Esta bactéria já tem sido utilizada na preparação de inseticidas biológicos. A sua principal característica está na produção de cristais com proteínas que matam seletivamente alguns grupos de insetos. Estes cristais de proteínas, proteínas Cry, são tóxicos para determinados grupos de insetos e precisam ser ingeridos pelos mesmos para que haja o efeito inseticida. Após a ingestão, enzimas digestivas dos próprios insetos ativam a toxina em forma de

proteína. A proteína Cry se liga a receptores específicos das células da parede do intestino dos insetos, provocando o rompimento das mesmas. Os insetos param de se alimentar em menos de 2 horas, e se ingeriram quantidade suficiente de toxina, morrem em dois ou três dias. Os códigos genéticos destas proteínas são atualmente introduzidos nas plantas, possibilitando a produção da proteína constantemente e protegendo-as, contra ataques de pragas (CIB, 2002). Embora os bioinseticidas à base de *Bt* não tenham dado bons resultados no controle de *S. frugiperda*, tem-se observado que plantas transgênicas com o gene *Bt* apresentam algum nível de resistência a essa espécie (WAQUIL; VILLELA; FOSTER, 2002).

As cultivares de milho YieldGard<sup>®</sup>, de propriedade da empresa Monsanto (MONSANTO EUROPA, 2006), assim como o milho TL<sup>®</sup>, da empresa Syngenta, são melhoradas geneticamente para serem resistentes à broca-do-colmo (*Diatraea saccharalis*), lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*). Essas cultivares são capazes de produzir em pequenas quantidades a proteína *Bt* (Cry 1 Ab). Quando as pequenas larvas tentam danificar a planta, ingerem conjuntamente com os tecidos vegetais a proteína *Bt*. Uma vez ingerida, as próprias enzimas digestivas da larva ativam a forma tóxica da proteína, que atua rapidamente danificando a larva. Assim, se consegue um controle muito eficaz das larvas da broca, sem risco para outros insetos benéficos e restantes da fauna.

Os híbridos que incluem a tecnologia YieldGard<sup>®</sup> são idênticos aos híbridos convencionais, dos quais derivam, no que se refere ao comportamento agrônômico (MONSANTO EUROPA, 2010). Rice (1998) já previa que, se 80% da área total ocupada com milho nos Estados Unidos fosse ocupada com híbridos *Bt*, haveria uma redução na aplicação de até 540 toneladas de inseticida.

Em estudo desenvolvido no estado de Nebraska, EUA, foi verificado que híbridos de milho transgênicos expressando toxinas Cry e submetidas à

infestação artificial com *Spodoptera frugiperda* produziram cerca de 32% mais grãos que as testemunhas suscetíveis (WAQUIL; VILLELA; FOSTER, 2002). Fernandes et al. (2003) observaram que a infestação natural de *S. frugiperda* em plantios experimentais em Barretos e Rolândia, no Estado de São Paulo, reduziu a intensidade de dano, em média, de 73% em híbrido convencional para 34% em híbrido transgênico, expressando o gene Cry 1Ab, evidenciando a eficiência da tecnologia no controle dessa praga.

O cultivo de milho doce *Bt* em três estados norte-americanos apresentou controle eficaz de *Ostrinia nubilalis* e aumentou em 70-100% a produção de espigas comercializáveis e em 90-100% os produtos processados (BURKNESS et al., 2002). Outro benefício observado em plantas *Bt* é que a proteção do milho contra o ataque de lagartas diminui a infestação das espigas por fungos e, conseqüentemente, a contaminação dos grãos por micotoxinas como a fumonisina, que, além de tóxica, é carcinogênica (MUNKVOLD; HELLMICH; RICE, 1999; MUNKVOLD; HELLMICH; SHOWERS, 1997).

No Brasil, culturas *Bt*, especialmente o milho, são muito promissoras, em razão do intenso ataque de pragas que resultam em perdas acentuadas na produção, caso grandes quantidades de inseticidas não sejam aplicadas. Assim, qualquer tecnologia capaz de reduzir a necessidade de aplicação de produtos químicos é muito vantajosa sob vários aspectos: de logística da atividade, econômico, ambiental e de segurança do trabalhador rural.

## **2.5 Transgênicos versus não-transgênicos**

Na transformação genética de plantas por meio da biobalística ou *A. tumefaciens*, o local da inserção do gene desejado no genoma da planta é aleatório, resultando, algumas vezes, em alterações na seqüência do DNA a ser inserido e, às vezes interrompendo o genoma do receptor (VISARADA et al.,

2009). Assim, alterações na expressão da característica almejada são passíveis de ocorrer, assim como alterações na expressão de outras características das plantas receptoras.

Segundo Lynch et al. (1995) plantas transgênicas de arroz foram significativamente menores, com florescimento tardio e foram parcialmente estéreis quando comparados com testemunhas não transgênicas. Em soja foi observado flores morfologicamente anormais, as quais não deram origem a sementes (LIU et al., 1996).

Em sorgo, progênies transgênicas foram maiores e menos férteis e com baixa produção de sementes (SRUJANA, 2006). Entretanto, Maheswari et al. (2010), verificaram que plantas transgênicas de sorgo com o gene *mtlD*, que confere maior tolerância ao déficit hídrico e salinidade, apresentaram desenvolvimento vegetativo e reprodutivo semelhantes às das plantas não transgênicas. A taxa de segregação do gene seguiu o padrão da herança monogênica. Sendo assim, nesse estudo ficou evidenciado que a introdução do gene *mtlD* não provocou nenhuma esterilidade ou anormalidade nas plantas.

Blanche et al. (2006) compararam cultivares transgênicas de algodão resistentes à insetos, resistentes à herbicida e com ambos os eventos na mesma planta, com suas respectivas versões convencionais. Os autores verificaram que as cultivares transgênicas foram mais altas, possuíram maiores taxas de entrenós, sementes maiores e baixa percentagem de línter e em alguns casos obtiveram maiores produtividades. Nessa mesma pesquisa, os autores verificaram que existem diferenças nos níveis de estabilidade entre as cultivares transgênicas e convencionais de acordo com a característica analisada e a tecnologia empregada.

Em estudo conduzido por Zamariola et al. (2010), foram avaliados híbridos de milho transgênicos e suas respectivas versões convencionais quanto ao rendimento de grãos. Os híbridos de milho convencionais e transgênicos não

diferiram quanto à produtividade de grãos. Resultados semelhantes foram relatados por Gianessi e Carpenter (1999) e Graeber, Nafzinger e Mies (1999). Entretanto, ao avaliar a produtividade de híbridos de milho transgênico *Bt* e convencional na região de Ituiutaba-MG, Benício e Hanauer (2010) verificaram que o híbrido transgênico apresentou melhor desempenho em comparação com à sua versão não transgênica, com 26,5% a mais na produtividade. Resultados semelhantes foram encontrados por Fagioli, Souza e Costa (2010) e Magg et al. (2001).

Sendo assim, é visto que a inserção de um gene de interesse no genoma de outra espécie pode interferir na morfologia da planta receptora, assim como na estabilidade da mesma. Para a cultura do milho, são escassos os resultados de pesquisa sobre modificações na morfologia e nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica de híbridos transgênicos com tecnologia *Bt*.

## **2.6 Interação genótipos por ambientes**

A interação genótipos x ambientes (GxA) é caracterizada quando o comportamento das raças, linhagens ou cultivares não são consistentes nos diferentes ambientes. Isto é, as respostas dos genótipos são diferentes frente às alterações que ocorrem nos ambientes (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2008).

A resposta dos genótipos às mudanças ambientais é resultante de dois tipos de variações ambientais: previsíveis e imprevisíveis. A primeira inclui todas as condições permanentes do ambiente, que variam de maneira sistemática. Já as imprevisíveis, que são as que mais contribuem para as interações genótipos x anos e genótipos x locais, bem como para as interações mais complexas como a interação tripla genótipos x locais x anos, correspondem às variações dos fatores ambientais, como precipitação, temperatura e outros (ALLARD; BRADSHAW, 1964; FEHR, 1987).

A interação GxA pode ser dividida em duas partes. Uma de natureza simples, quando não ocorre alteração das posições relativas dos genótipos avaliados, dentro de um conjunto de ambientes. A outra chamada de complexa ocorre quando a correlação entre o desempenho dos genótipos ao longo dos ambientes em estudo é baixa, o que faz com que a posição relativa dos genótipos seja alterada em virtude das diferentes respostas às variações ambientais (ROBERTSON, 1959).

A quantificação dos componentes da interação é muito importante na tomada de decisão por parte do melhorista (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Sendo assim, quando predominam interações simples, a seleção e indicação de cultivares pode ser realizada de maneira generalizada. Entretanto, quando predomina interação do tipo complexa, caracterizada pela presença de materiais adaptados a ambientes particulares, o trabalho do melhorista é dificultado, uma vez que a recomendação de cultivares é restrita a ambientes específicos.

A ocorrência de interação GxA de natureza complexa é esperada em programas comerciais voltados à obtenção de novas cultivares. São demandados grandes esforços na avaliação de materiais em uma gama de ambientes em sucessivos anos (BERNARDO, 2002). O autor relata que os híbridos comerciais nos EUA são testados em cerca de 120 a 2100 locais diferentes antes de sua comercialização. No Brasil, a ocorrência de interações complexas em milho é fato esperado entre e dentro das regiões de cultivo. Isso pode ser constatado analisando-se os resultados de ensaios de híbridos comerciais, conduzidos sob coordenação nacional (EMBRAPA, 2008).

A natureza da interação deve ser atribuída a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada cultivar. Em termos genéticos, a interação pode ocorrer quando a contribuição dos genes que controlam o caráter ou o nível de expressão dos mesmos difere entre os ambientes. Isso ocorre porque a expressão dos genes é influenciada e/ou regulada pelo ambiente (KANG, 1998).

Na literatura são descritos meios para atenuar o efeito da interação GxA, dentre eles pode-se destacar a identificação de cultivares específicas para determinados ambientes, que segundo Ramalho, Santos e Zimmermann (1993) é praticamente inviável, e a identificação de cultivares com maior estabilidade.

## **2.7 Estabilidade e adaptabilidade fenotípica**

Na literatura são descritas diversas metodologias para se estimar esses parâmetros. Cada uma delas possui vantagens e desvantagens. Detalhes sobre elas podem ser encontrados em Crossa (1990), Cruz e Carneiro (2004) e Lin, Binns e Lefkovitch (1986).

Cruz e Carneiro (2004) especificam diferentes conceitos de adaptabilidade e estabilidade, e dentro desses estão as definições de Mariotti et al. (1976), que definem o termo adaptabilidade como a capacidade dos genótipos responderem vantajosamente à melhoria do ambiente; uma vantagem do ponto de vista do rendimento agrícola. A estabilidade é conceituada como a capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsível em função das variações ambientais. Segundo Lin, Binns e Lefkovitch (1986) existem três conceitos de estabilidade:

Na estabilidade tipo 1, a cultivar será considerada estável se sua variância entre ambientes é pequena.

A estabilidade tipo 2 ocorre quando a resposta da cultivar ao ambiente é paralela ao desempenho médio de todas as cultivares avaliadas nos experimentos.

Na estabilidade tipo 3, a cultivar será estável se o quadrado médio dos desvios de regressão que avalia a estabilidade é pequeno.

Posteriormente, Lin e Binns (1988) propuseram um quarto tipo. Segundo os autores, a cultivar será considerada estável se o quadrado médio da interação genótipos x anos dentro dos locais for pequeno.

Considerando esse tipo de estabilidade (tipo 2), existem várias metodologias que podem ser utilizadas para mensurar este parâmetro. Dentre os métodos propostos, pode-se destacar o de Wricke (1965), cujo parâmetro é denominado de “ecoalência” ( $W^2_i$ ), que estima o quanto cada cultivar contribui para a interação. Quanto menor for a estimativa de  $W^2_i$ , mais estável será a cultivar.

Outra metodologia para estimar o parâmetro de estabilidade foi desenvolvida por Anicchiarico (1992). O método baseia-se na estimação de um índice de confiança (ou índice de recomendação) de um determinado genótipo mostrar comportamento relativamente superior. Nesse método, a estabilidade é mensurada pela superioridade do genótipo em relação à média de cada ambiente. Com isso, estima-se um risco de adoção de cada cultivar. Essa estimativa de risco é normalmente levada em conta no planejamento econômico da propriedade.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na safra de verão 2009/2010, em sistema plantio direto, em quatro locais da região Sul de Minas Gerais (Tabela 1).

Foram avaliados seis híbridos simples, nas suas versões convencionais e transgênicas (Tabela 2), no delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. As parcelas foram constituídas de quatro fileiras de cinco metros de comprimento, sendo as duas fileiras centrais consideradas como úteis para a coleta de dados. O espaçamento entre fileiras foi de 0,8 m e a densidade de cinco plantas por metro linear, após o desbaste. A densidade populacional utilizada foi de 62.500 plantas por hectare.

Tabela 1 Descrição dos locais onde foram conduzidos os experimentos. UFLA, Lavras, MG, 2010

Locais	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Clima*
Campo do Meio	850	21°05' S	45°34' W	Cwa
Lavras	988	21°14' S	45°00' W	Cwa
Madre de Deus	1.018	21°31' S	42°20' W	Cwa
Paraguaçu	720	21°45' S	45°15' W	Cwa

\* Segundo classificação de Köppen

Na semeadura, foram utilizados 450 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 8 (N): 28 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): 16 (K<sub>2</sub>O). A adubação de cobertura foi realizada quando as plantas estavam no estágio de 4-5 folhas totalmente expandidas, sendo aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 30 (N): 00 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): 20 (K<sub>2</sub>O).

Nos experimentos conduzidos em Campo do Meio e em Lavras, devido ao alto índice de ataque da lagarta do cartucho, foi necessária a aplicação de inseticida. Essa prática tem sido utilizada por agricultores quando a incidência de lagartas atinge o nível de dano econômico. Desse modo, esta fonte de variação (aplicação) foi contemplada para efeito da análise dos dados.

Tabela 2 Características dos híbridos simples avaliados. UFLA, Lavras, MG, 2010

Híbridos	Tipo*	Empresa	Textura do grão	Ciclo**
AG 8060	C	Agrocerec	Duro	P
AG 8060 YG	T	Agrocerec	Duro	P
AG 8088	C	Agrocerec	Duro	P
AG 8088 YG	T	Agrocerec	Duro	P
MAXIMUS	C	Syngenta	Duro	P
MAXIMUS TL	T	Syngenta	Duro	P
IMPACTO	C	Syngenta	Duro	P
IMPACTO TL	T	Syngenta	Duro	P
P30F53	C	Pionner	Semiduro	SMP
P30F53 YG	T	Pionner	Semiduro	SMP
DKB 185	C	Dekalb	Duro	SMP
DKB 185 YG	T	Dekalb	Duro	SMP

\* Convencional (C); Transgênico (T); \*\*P – precoce; SMP – semiprecoce

O produto utilizado foi o inseticida MATCH CE (ingrediente ativo Lefenurom), na dose de 300 ml ha<sup>-1</sup>, que foi aplicado aos 25 dias após a emergência das plantas.

Foram avaliadas as características de altura de plantas, altura de espigas e produtividade de grãos. Em Lavras também foram avaliados o florescimento masculino e feminino e o stay-green.

A determinação da produtividade de grãos foi realizada por meio da colheita, debulha e pesagem das espigas de cada parcela. O teor de água foi determinado imediatamente após a colheita e a produção, quantificada em Kg, foi ajustada para o valor do teor de água de 13% e expressa em  $\text{kg ha}^{-1}$  (BRASIL, 1992). As avaliações do florescimento masculino e feminino foram realizadas por meio do somatório de graus-dia, conforme Silva et al. (2001).

A avaliação da altura de plantas foi realizada com auxílio de uma régua graduada, medindo-se do solo até a inserção do pendão ou panícula, no estágio de florescimento. A altura de espiga foi determinada medindo-se do nível do solo até a inserção da primeira espiga. Todas essas avaliações foram feitas em cinco plantas da área útil da parcela.

Para o caráter stay-green, a avaliação foi procedida conforme proposto por Costa et al. (2008), sendo a avaliação realizada após a maturação fisiológica dos grãos (em média 120 dias após o plantio). Foi utilizada uma escala de notas variando de 1 a 5. A nota 1 refere-se a plantas com todas as folhas acima da espiga e pelo menos duas folhas abaixo da espiga com coloração verde; nota 2 plantas em que todas as folhas acima da espiga estiverem verdes; nota 3, plantas em que duas folhas acima da espiga estiverem secas e as demais verdes; nota 4 plantas em que duas folhas no ápice da planta estiverem verdes; nota 5, plantas que possuam todas as folhas secas. Foram avaliadas cinco plantas competitivas por parcela e as médias destas foram utilizadas nas análises.

Para o caráter produtividade de grãos, visando corrigir irregularidades de estande, foi realizada a análise de covariância segundo Ramalho, Ferreira e Oliveira (2000). As produtividades médias das parcelas, de todos os experimentos, foram ajustadas para o estande ideal ( $50 \text{ plantas}/8 \text{ m}^2$ ).

Para o florescimento masculino e feminino e stay-green, avaliados em Lavras, foi realizado uma análise de variância individual para cada característica.

Para as características produtividade de grãos, altura de plantas e altura de espigas, foram realizadas análises de variância conjunta envolvendo os quatro experimentos. Para isso, verificou-se a homogeneidade das variâncias residuais entre os ambientes, por meio da relação entre o maior e menor quadrado médio do erro dos ambientes. As variâncias foram consideradas homogêneas quando o valor foi inferior a sete, conforme Pimentel-Gomes (1990). Assim, pode-se proceder a análise de variância conjunta dos dados.

As análises de variâncias conjunta foram realizadas de acordo com o modelo abaixo, sendo consideradas todas as fontes de variações fixas.

$$Y_{ijklm} = \mu + h_i + t_k + b_{j(lm)} + l_{l(m)} + a_m + ht_{ik} + ha_{im} + ta_{km} + hl_{il(m)} + tl_{kl(m)} + hta_{ikm} + htl_{ikl(m)} + e_{ijklm}$$

em que:

$Y_{ijklm}$ : observação do híbrido i, do tipo k, no bloco j, no local l, na aplicação m;

$\mu$ : média geral;

$h_i$ : efeito do híbrido i;

$t_k$ : efeito do tipo de híbrido k (transgênico ou convencional);

$b_{j(lm)}$ : efeito do bloco j, dentro do local l e aplicação m;

$l_{l(m)}$ : efeito do local l, dentro de aplicação m;

$a_m$ : efeito da aplicação de inseticida m (com ou sem);

$ht_{ik}$ : interação entre o híbrido i e o tipo k;

$ha_{im}$ : interação entre o híbrido i e da aplicação m;

$ta_{km}$ : interação entre o tipo k e da aplicação m;

$hl_{il(m)}$ : interação entre o híbrido i e o local l, dentro da aplicação m;

$tl_{kl(m)}$  : interação entre o tipo l e o local l, dentro da aplicação m;

$hta_{ikm}$  : interação entre o híbrido i, o tipo k e da aplicação m;

$htl_{ikl(m)}$  : interação entre o híbrido i, tipo k, do local l, dentro da aplicação m;

$e_{ijklm}$  : erro experimental.

As análises de variâncias individuais e conjuntas foram realizadas por meio do procedimento “GLM” (General Linear Models) do pacote computacional SAS v 8.0 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 1999).

As médias foram agrupadas por meio do teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se o pacote computacional Genes (CRUZ, 2006).

Para estimar a estabilidade dos híbridos (convencionais e transgênicos), optou-se pelos métodos de Anicchiarico (1992) e Wricke (1965). Esses métodos foram escolhidos por proporcionarem resultados de fácil interpretação e por serem aplicáveis mesmo quando o número de ambientes for relativamente reduzido. As análises foram realizadas pelo pacote computacional Estabilidade (FERREIRA; ZAMBALDE, 1997).

O método de Wricke (1965) estima a contribuição de cada híbrido para a interação híbridos x locais (HxL), também denominada de ecovalência ( $W_i^2$ ), obtida por meio da partição da soma de quadrados da interação HxL. O parâmetro  $W_i^2$  foi determinado pela seguinte expressão:

$$W_i^2 = \sum_l [(\hat{hl}_{il})^2] = (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.l} + \bar{Y}_{..})^2$$

em que:

$\hat{hl}_{il}$  : estimativa do efeito da interação do híbrido i com o local l;

$\bar{Y}_{il}$ : média do híbrido  $i$  no local  $l$ ;  $\bar{Y}_{i.}$ : média do híbrido  $i$ ;  $\bar{Y}_{.l}$ : média do local  $l$ ;  $\bar{Y}_{...}$ : média geral;

O somatório das  $W_i^2$  corresponde ao valor da soma de quadrados da interação HxL. Dessa forma, é possível calcular a porcentagem da interação devido a cada híbrido, pela equação:

$$W_i^2 \% = \frac{W_i^2}{\sum_i W_i^2} \times 100$$

Para verificar a significância da estabilidade dos híbridos fornecidos pelo método de Wricke (1965), ( $H_0: W_i^2 = 0$ ), foi utilizado o teste estatístico proposto por Lisbão Júnior (1991), apresentado por Rezende (2002). Contudo, alterou-se o testador pelo quadrado médio do erro, justificado pela interação HxL ser de natureza fixa no presente trabalho. Sendo assim, utilizou-se a seguinte expressão:

$$F_c = \frac{(g W_i^2 / g - 1) / l - 1}{Q_{Merro}} \sim F_{Tab}(\alpha\%; l - 1; GL_{erro})$$

Para estimar a estabilidade dos híbridos pelo método proposto por Anicchiario (1992), as médias de cada híbrido em cada local ( $\bar{Y}_{il}$ ) foram transformadas em porcentagens da média do local, ou seja,  $P_{il} = \frac{\bar{Y}_{il}}{\bar{Y}_{.l}} \times 100$ . Posteriormente foi estimado o desvio padrão ( $s_i$ ) das porcentagens de cada híbrido pela expressão  $s_i = \sqrt{\frac{\sum (P_{il} - \bar{P}_i)^2}{l - 1}}$ ,

em que:  $\bar{P}_i$  é a média das porcentagens para o híbrido  $i$  nos  $l$  locais. A partir disso, estimou-se o índice de confiança do híbrido  $i$  ( $I_i$ ) dado pela expressão:

$$I_i = \bar{P}_i - Z_{(1-\alpha)} \times S_i$$

em que:  $Z_{(1-\alpha)}$  é o valor na distribuição normal padronizada no qual a função de distribuição acumulada atinge o valor  $(1 - \alpha)$ . Foi considerado  $\alpha$  igual a 25%.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as características stay-green, florescimento masculino e florescimento feminino, avaliados no experimento de Lavras, foram observadas diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre híbridos, o que evidencia o comportamento diferenciado entre os mesmos no ambiente avaliado (Tabela 3). Para o caráter stay-green, somente o híbrido Impacto diferiu dos demais, apresentando maior stay-green (Tabela 4).

A fonte de variação tipos significativa evidencia a diferença entre híbridos transgênicos e convencionais. Esse resultado foi observado somente para o caráter stay-green (Tabela 3). Híbridos transgênicos apresentaram maior média, 4,3, quando comparado aos híbridos convencionais, com média igual a 3,6 (Tabela 4). Maiores valores médios de nota para stay-green estão associados à senescência foliar mais precoce.

O stay-green em vegetais pode estar relacionado à resistência ao estresse hídrico, aumento da tolerância a pragas e doenças, redução no acamamento de plantas, tolerância ao maior adensamento e tem sido relacionado, também, ao aumento da produtividade direta e indiretamente (BUCHANAN-WOLLASTON et al., 2003; JIANG et al., 2004; NOODEN; GUIAMET; JOHN, 1997). A senescência ocorre devido à redução na clorofila e com conseqüente declínio na capacidade fotossintética. Assim, a senescência prematura pode afetar consideravelmente a produtividade dos cereais (JIANG et al., 2004). Esse caráter interage significativamente com o ambiente (COSTA et al., 2008), por conseguinte, como o stay-green foi avaliado somente em Lavras, provavelmente, a influência do ambiente pode explicar as diferenças fenotípicas encontradas nos híbridos avaliados.

Tabela 3 Resumo da análise de variância para o caracteres stay-green (SG), florescimento masculino (FM) e florescimento feminino (FF) de plantas de milho, transgênicas e suas respectivas versões convencionais, avaliadas em Lavras-MG. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	SG		FM		FF	
		QM	Pr > F	QM	Pr > F	QM	Pr > F
Híbridos (H)	5	2,7333	0,0022	16,69	<0,0001	2.840,63	0,0003
Tipos (T)	1	5,4444	0,0035	4,65	0,8449	0,03	0,9926
HxT	5	0,4444	0,5134	984,63	0,0002	473,92	0,3123
Resíduo	22	0,5075		118,82		373,46	
CV(%)		17,81		1,18		2,07	
Médias		4,0		921,3		930,7	

Já para a interação híbridos x tipos, constatou-se significância apenas para o florescimento masculino (Tabela 3). Isso indica que pelo menos um híbrido diferiu no comportamento quando se comparou o mesmo, com tecnologia *Bt* com seu respectivo isogênico convencional. Sendo assim, o híbrido AG8088, com tecnologia *Bt*, apresentou menor número de graus-dia para o florescimento (889) em relação a seu respectivo isogênico convencional, com média 932 (Tabela 4). Para o híbrido DKB185, a versão transgênica apresentou maior somatório de graus-dia para o florescimento masculino em relação à sua respectiva versão convencional (Tabela 4). Híbridos transgênicos diferem de seus isogênicos somente pelo gene *Bt* inserido, portanto, não era previsto diferenças no comportamento. Magg et al. (2001) concluíram que não houve diferenças significativas para o florescimento masculino entre híbridos de milho *Bt* e seus respectivos isogênicos convencionais.

Tabela 4 Médias de híbridos de milho transgênicos e de seus respectivos isogênicos não transgênicos, referentes aos caracteres stay-green, florescimento masculino e florescimento feminino, avaliados na cidade de Lavras-MG. UFLA, Lavras, MG, 2010

Híbridos	Stay-green			Florescimento masculino			Florescimento Feminino		
	*Conv	Trans	Média	Conv	Trans	Média	Conv	Trans	Média
AG8060	4,3	5,0	4,6 a	927 A	942 A	934	937	952	944 a
AG8088	4,0	5,0	4,5 a	932 A	899 B	915	927	904	915 b
DKB185	2,6	4,0	3,3 a	922 B	961 A	941	946	971	958 a
Impacto	3,0	3,0	3,0 b	941 A	932 A	936	946	946	946 a
Maximus	3,6	5,0	4,3 a	904 A	884 A	893	913	899	906 b
P30F53	4,0	4,3	4,1 a	904 A	908 A	905	913	913	913 b
Média	3,6 B	4,3 A		921 A	921 A		930 A	930 A	

\* Convencional (Conv); transgênico (Trans); Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade

Para o caráter produtividade de grãos, por meio das análises de variâncias individuais, observou-se significância da fonte de variação híbridos em Campo do Meio e Lavras (Tabela 1A). Isso reflete o comportamento diferenciado dos híbridos quando avaliados nesses locais. Verificou-se que o híbrido com maior e menor produtividade de grãos em Campo do Meio foi o AG8088, com 7.584 kg ha<sup>-1</sup> e Impacto com 5.995 kg ha<sup>-1</sup>. Em Lavras, o híbrido com melhor produtividade foi o P30F53, com média de 9.028 kg ha<sup>-1</sup> e o híbrido Maximus, obteve a menor produtividade, 7.204 kg ha<sup>-1</sup>.

Para a fonte de variação tipos, em Campo do Meio, a significância indica que houve diferença na produtividade de híbridos transgênicos quando comparados com seus respectivos isogênicos (Tabela 1A). Em média, híbridos com tecnologia *Bt* produziram 7.297 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que os híbridos convencionais produziram 6.430 kg ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a 13% de diferença. Era esperado que, com a aplicação de inseticida, o desenvolvimento das plantas ocorresse em um ambiente sem o ataque de pragas, por conseguinte, a produtividade de grãos de plantas transgênicas quanto convencionais fosse semelhante. Entretanto, foi observado que antes do controle dos insetos pragas, híbridos transgênicos possuíam menores danos provocados por esses insetos. Isso pode ter contribuído para a melhor produtividade dos transgênicos.

Pela análise de variância individual para a altura de espiga, observou-se significância para a interação entre híbridos e tipos somente para Madre de Deus (Tabela 2A). Sendo assim, o híbrido Impacto, na versão transgênica, apresentou maior altura de inserção da espiga do que seu respectivo isogênico convencional, com médias de 124 cm e 112 cm, respectivamente.

Para a altura de plantas, as análises individuais mostraram a significância para a interação entre híbridos e tipos para Campo do Meio e Madre de Deus (Tabela 3A). Verificou-se que o híbrido DKB 185, na versão transgênica, foi maior do que seu respectivo isogênico convencional em ambos os locais. Em

Campo do meio a versão transgênica desse híbrido apresentou altura de plantas de 238 cm, enquanto que a respectiva versão convencional 217. Em Madre de Deus, esse híbrido apresentou altura de plantas de 228 cm e 211 cm para a versão transgênica e convencional, respectivamente.

Pelas análises de variância conjunta envolvendo os quatro experimentos, observou-se significância ( $P < 0,05$ ) para diversas fontes de variação, para todas as características avaliadas (Tabela 5). Também se observa que essas fontes significativas foram comuns para os parâmetros avaliados, altura de plantas e altura de espiga, com exceção de tipo para a altura de plantas.

A significância da fonte de variação aplicação, para altura de plantas, assim como para altura de espigas, indica que houve diferença no comportamento dos híbridos nos locais onde foi aplicado o inseticida em relação aos locais onde a aplicação não foi realizada (Tabela 5). Nos ambientes com aplicação, foi observado plantas maiores, com média de 223 cm e plantas com menor altura da inserção da espiga, com média de 118 cm. Para essas mesmas características, observa-se que os híbridos diferiram quando analisados dentro dos ambientes com aplicação e dos ambientes sem a aplicação, em função da significância da fonte de variação aplicação dentro de local.

Tabela 5 Resumo das análises de variâncias conjunta envolvendo os quatro locais para altura de plantas e de espigas e da produtividade de grãos, de híbridos de milho transgênicos e suas respectivas versões convencionais. LAVRAS, CAMPO DO MEIO, MADRE DE DEUS, PARAGUAÇU, MG, 2010

FV	GL	Altura de plantas		Altura de espigas		Produtividade de grãos	
		QM	Pr>F	QM	Pr>F	QM	Pr>F
Ambientes (Amb)	(3)					48.656.729,6	<,0001
Aplicação (Ap)	1	5.877,77	<,0001	5.814,06	<,0001	102.214.172,6	<,0001
Locais (L)/Ap	2	5.105,90	<,0001	573,78	0,0015	21.878.008,1	<,0001
Blocos/Amb	8	154,68	0,1468	50,86	0,7558	688.035,4	0,6550
Genótipos (G)	(11)					1.801.244,8	0,0446
Híbridos (H)	5	212,08	0,0673	47,25	0,7156	1.910.576,4	0,0783
Tipos (T)	1	667,36	0,0110	126,56	0,2162	3.538.490,2	0,0541
H*T	5	1.087,3	<,0001	461,14	0,0001	1.344.464,2	0,2151
G*Amb	(33)					1.184.491,8	0,1843
H*Ap	5	367,77	0,0042	296,97	0,0048	1.837.723,3	0,0895
T*Ap	1	177,77	0,1833	237,67	0,0913	774.158,0	0,3636
H*T*Ap	5	111,94	0,3490	103,09	0,2866	475.982,3	0,7660
L*H/Ap	10	277,15	0,0046	202,11	0,0115	1.651.718,5	0,0761
L*T/Ap	2	8,68	0,9160	119,61	0,2362	1.824.667,6	0,1462
L*H*T/Ap	10	389,09	0,0002	261,28	0,0015	657.902,2	0,7140
Erro	88	98,81		81,54		928.323,6	
CV(%)		4,32		7,25		11,67	
Média		229		124		8.250,14	

Para a fonte de variação tipos, a significância evidencia que houve diferenças entre híbridos transgênicos e convencionais com relação à altura das plantas (Tabela 5). Verificou-se que plantas transgênicas com tecnologia *Bt* foram maiores do que plantas sem essa tecnologia, com médias 231 cm e 227 cm (Tabela 6). Resultados semelhantes foram reportados quando se estudou o comportamento de híbridos transgênicos e seus respectivos isogênicos não transgênicos, que concluíram que plantas transgênicas foram, em média, 15 cm mais altas do que as versões convencionais (WOBETO; RAMOS, 2010).

A interação entre híbridos x tipos significativa evidencia que o desempenho dos híbridos, com relação à altura de plantas e altura de espigas, depende da versão (transgênica ou convencional). Verificou-se que o híbrido P30F53, na versão transgênica, foi maior do que sua versão convencional (Tabela 6). Resultados semelhantes foram relatados por Magg et al. (2001). Os autores concluíram que plantas transgênicas, quando cultivadas sob condições controladas, foram maiores em relação às suas respectivas versões convencionais. Maiores alturas de espiga foram observadas para os híbridos DKB185 e P30F53, na versão transgênica, em relação a seus respectivos isogênicos convencionais (Tabela 6).

Constatou-se a presença de interação entre híbrido e aplicação (Tabela 5), evidenciando que os diferentes genótipos diferem na altura das plantas e espigas quando submetidos à aplicação do inseticida.

Tabela 6 Médias de híbridos de milho transgênicos e de seus respectivos isogênicos não transgênicos, referentes aos caracteres altura de plantas, altura de espigas e produtividade de grãos, obtidos por meio da análise conjunta dos quatro locais. LAVRAS, CAMPO DO MEIO, MADRE DE DEUS, PARAGUAÇU, MG, 2010

Híbridos	Altura de plantas			Altura de espigas			Produtividade de grãos		
	Conv	Trans	Média	Conv	Trans	Média	Conv	Trans	Média
AG8060	231 A	232 A	230	122 A	126 A	123	7546	8493	8019 a
AG8088	231 A	236 A	234	124 A	126 A	125	8371	8790	8581 a
DKB185	228 A	240 A	232	117 B	131 A	123	8204	8461	8332 a
Impacto	231 A	230 A	226	127 A	123 A	126	7593	8284	7939 a
Maximus	231 A	232 A	228	131 A	120 A	126	8188	7942	8065 a
P30F53	226 B	236 A	227	119 B	126 A	122	8655	8469	8562 a
Média	227	231		123	125		8093	8406	

\* Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Para o caráter produtividade de grãos, a significância da fonte de variação aplicação evidencia que houve diferença na produtividade dos locais, onde se efetuou o controle de insetos pragas por meio do controle químico, dos locais onde a aplicação não foi necessária (Tabela 5). As produtividades médias foram, respectivamente, de 6.197 e 7.882 kg ha<sup>-1</sup>, para os locais com uso de inseticida e os locais sem o uso. Esse resultado era esperado, visto que, a aplicação de inseticida é recomendada quando o nível de dano econômico (NDE) atinge 17% (CRUZ et al., 1983). Entretanto, em Campo do Meio, a aplicação foi realizada após o NDE. Sendo assim, as injúrias provocadas pelo ataque de lagartas podem ter promovido a menor produtividade de grãos nesse local.

Para a fonte de variação locais dentro de aplicação, a significância reflete que houve diferenças na produtividade entre os dois locais, nos quais foi realizado a controle de insetos pragas (Tabela 5). As produtividades médias foram de 6.863 kg ha<sup>-1</sup> e 7.951 kg ha<sup>-1</sup> para Campo do Meio e Lavras.

A fonte de variação tipos não foi significativa ( $P \geq 0,05$ ) (Tabela 5). Esse resultado indica que o desempenho dos híbridos, tanto convencionais quanto transgênicos, com relação à produtividade de grãos, foram semelhantes. Em estudo conduzido por Zamariola et al. (2010) no município de Selvíria – MS, os autores, comparando a produtividade de híbridos transgênicos e suas respectivas versões convencionais, concluíram que não há diferença de produtividade de grãos. Resultados semelhantes foram obtidos em estudo realizado nos Estados Unidos, onde os autores concluíram que quando se compara produção de cultivares semelhantes, transgênico e convencional, constata-se que, controlando outros fatores, em condições onde não há pressão de pragas e/ ou pestes do meio ambiente no desenvolvimento das lavouras, a produtividade do cultivo convencional é igual ou ligeiramente superior à produtividade do cultivo com transgênicos (GIANESSI; CARPENTER, 1999). Também nos Estados Unidos,

foi verificado que na ausência ou sob baixa infestação da European Corn Borer (*Ostrinia nubilalis*), a produtividade de grãos de híbridos de milho *Bt* foram semelhantes à dos respectivos isogênicos convencionais (GRAEBER; NAFZINGER; MIES, 1999).

Entretanto, Benício e Hanauer (2010) concluíram que o híbrido de milho transgênico DKB 390YG, em média, foi 26,5% mais produtivo do que sua respectiva versão convencional. Comparando o desempenho de híbridos de milho transgênicos com seus respectivos isogênicos não transgênicos, em dois ambientes, um com controle de pragas e outros com infestação por lagartas, Magg et al. (2001) relataram que em ambos experimentos os híbridos transgênicos foram mais produtivos do que seus respectivos isogênicos convencionais.

A interação entre híbridos x tipos não foi significativa ( $P < 0,05$ ) (Tabela 2). Isso evidencia que o comportamento de híbridos transgênicos com gene *Bt* para a produtividade de grãos e semelhantes ao dos seus respectivos isogênicos convencionais (Tabela 6). No Brasil, tem-se constatado um rápido aumento na substituição dos híbridos convencionais por híbridos com tecnologia *Bt*. Em consequência, nota-se uma tendência de elevação no custo das sementes híbridas, o que pode inviabilizar a adoção por um grande contingente de agricultores. Observa-se um acréscimo no custo das sementes transgênicas com gene *Bt*, na ordem de R\$ 100,00 a R\$ 200,00 por saco, quando comparado com a mesma semente sem a tecnologia *Bt*. Dessa forma, é importante levar em consideração, no momento da recomendação do híbrido, se o emprego da tecnologia *Bt* compensaria o maior custo das sementes.

A interação entre genótipos por ambientes foi significativa a 18,44% de probabilidade (Tabela 5). Isso revela o comportamento diferenciado entre os híbridos avaliados nos diferentes locais. Por conseguinte, pode-se realizar a análise de estabilidade pelos métodos citados anteriormente.

As médias, as estimativas da ecovalência ( $W_i^2$ ), da contribuição relativa de cada genótipo para a interação ( $CR_i$ ) pelo método de Wricke (1965) e do índice de confiança ( $I_i$ ), a média das porcentagens de cada híbrido nos quatro ambientes ( $p_i$ ), e o desvio padrão ( $s_i$ ) de cada híbrido, pelo método de Anicchiario (1992), para a produtividade de grãos de híbridos de milho transgênicos e seus respectivos isogênicos convencionais estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 Médias e estimativas dos parâmetros de estabilidade fenotípica por meio dos métodos de Anicchiario (1992) e Wricke (1965) de para a produtividade de grãos de híbridos de milho transgênicos e convencionais. UFLA, Lavras, MG, 2010

Híbridos	Tipo*	Wricke		Anicchiario		
		$W_i^2$	$CR_i$ (%)	$p_i$	$s_i$	$I_{(i)}$
AG8060	C	2.326.610,2	5,9	85,8	7,31	90,7
AG8060	T	1.594.549,7	4,1	99,7	4,9	103,0
AG8088	C	2.838.238,4	7,2	97,7	6,2	101,9
AG8088	T	4.369.838,9	11,2	101,1	9,4	107,4
DKB 185	C	6.002.182,6	15,3	95,1	6,3	99,3
DKB 185	T	2.301.399,3	5,9	95,6	10,6	102,8
Impacto	C	3.139.719,2	8,0	85,3	8,9	91,3
Impacto	T	1.487.945,4	3,8	96,7	5,0	100,1
Maximus	C	1.064.817,3	2,7	96,2	4,3	99,1
Maximus	T	7.351.156,1	18,8**	88,5	11,0	95,9
P30F53	C	1.585.016,8	4,1	101,4	5,3	105,0
P30F53	T	5.039.089,0	12,9	97,2	8,8	103,2

\* C – convencional; T – transgênico; \*\* significativo pelo teste de Lisboa Júnior (1991) a 5% de probabilidade

Observa-se que o híbrido Maximus apresentou maior contribuição relativa para a interação, 18,8% na versão transgênica, e também apresentou menor contribuição, com 2,7% na versão convencional (Tabela 7). Sendo assim, na versão transgênica, esse híbrido apresenta menor estabilidade em relação ao seu respectivo isogênico não-transgênico. Esse resultado pode ser explicado em função da não coincidência do desempenho desse híbrido nos diferentes locais de avaliação. Os híbridos AG8088 e P30F53 em suas versões transgênicas, também apresentaram maior contribuição relativa para a interação, mostrando-se menos estáveis. Já, para os híbridos, AG8060, DKB185 e Impacto, esses apresentaram menor estabilidade quando na versão convencional.

Por meio do teste de Lisboa Júnior (1991) modificado, a 5% de probabilidade, verificou-se que apenas o híbrido Maximus com tecnologia *Bt* contribuiu significativamente para a interação. Dessa forma, esse híbrido foi considerado não-estável, enquanto que os demais como estáveis.

De acordo com o índice de confiança de Anicchiarico (1992), no nível de significância de 25%, na pior das hipóteses, os híbridos AG8060, AG8088, nas versões transgênicas, terão desempenho de 3,5% e 9,0% superiores à média do ambiente, respectivamente (Tabela 7). Observa-se também que o híbrido Maximus, nas versões transgênica e convencional, mesmo sob condições favoráveis de ambiente, teriam desempenho de 1,1% e 4,8% abaixo da média do ambiente, respectivamente.

Os híbridos AG8060 e Impacto, nas suas versões transgênicas, foram mais estáveis em relação às suas respectivas versões não-transgênicas, quando comparado pelos dois métodos propostos. Esse resultado pode ser explicado em função desses híbridos com tecnologia *Bt* serem mais tolerantes ao ataque de pragas. A estabilidade fenotípica para produtividade depende de várias características da planta, dentre elas, a própria produtividade de grãos e a resistência a insetos-praga (KANG; MAGARI, 1996). Todavia, quando o gene

*Bt* é inserido no genoma de plantas de milho, espera-se que essas sejam capazes de suportar um maior ataque de pragas, mantendo a mesma produtividade quando comparadas a plantas sem esse gene. Resultados semelhantes foram relatados por Blanche et al. (2006), quando os autores compararam cultivares de algodão transgênicas *Bt* com seus respectivos isogênicos convencionais. Os autores concluíram que plantas com tecnologia *Bt* foram mais estáveis do que cultivares convencionais para características como altura de plantas, porcentagem de línter, entre outras.

Era esperado, para todos os híbridos, que a versão transgênica fosse mais estável do que sua respectiva versão convencional em função das mesmas possuírem tolerância ao ataque de lagartas. Entretanto, como em dois ambientes o ataque por lepidópteros foi controlado por inseticidas químicos, e nos outros dois ambientes não houve danos por essas pragas, valores de estabilidade semelhantes eram para ocorrer.

## 5 CONCLUSÕES

A altura de plantas dos híbridos varia em função do tipo de híbrido (convencional ou transgênico); de modo geral, os híbridos transgênicos possuem maiores alturas de plantas que os híbridos convencionais.

A produtividade de grãos e a altura de espiga dos híbridos transgênicos e seus respectivos isogênicos convencionais, foram semelhantes, independentemente do local e da aplicação de inseticida.

Dependendo do híbrido utilizado, há diferenças na estabilidade fenotípica entre híbridos transgênicos com tecnologia *Bt* e seus respectivos isogênicos convencionais.

O híbrido mais estável foi o Maximus, na versão convencional, pelo método de Wricke, enquanto que pelo método de Anicchiario, o híbrido mais estável foi o AG8088 na versão transgênica.

## REFERÊNCIAS

- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype x environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 5, p. 503-508, Sept./Oct. 1964.
- ANICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal Genetics and Breeding**, New Jersey, v. 46, n. 1, p. 269-278, Mar. 1992.
- BAHIA FILHO, A. F. C.; GARCIA, J. C. Análise e avaliação do mercado brasileiro de sementes de milho. In: UDRY, C. V.; DUARTE, W. F. (Org.). **Uma história brasileira do milho: o valor de recursos genéticos**. Brasília: Paralelo 15, 2000. p. 167-172.
- BENÍCIO, R. M.; HANAUER, R. Avaliação da produtividade de híbridos de milho convencional e transgênico (*Bt*) na região de Ituiutaba, MG. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: UFG, 2010. p. 255.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Minnesota: Stemma, 2002. 369 p.
- BLANCHE, S. B. et al. Stability comparisons between conventional and near-isogenic transgenic cotton cultivars. **Journal of Cotton Science**, Baton Rouge, v. 10, n. 1, p. 17-28, Mar. 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365 p.
- BUCHANAN-WOLLASTON, V. et al. The molecular analysis of leaf senescence: a genomics approach. **Plant Biotechnology Journal**, Oxford, v. 1, p. 3-22, Jan. 2003.
- BURKNESS, E. C. et al. Efficacy and risk efficiency of sweet corn hybrids expressing a *Bacillus thuringiensis* toxin for Lepidopteran pest management in the Midwestern US. **Crop Protection**, Surrey, v. 21, n. 2, p. 157-169, Mar. 2002.
- CHEN, L. et al. Expression and inheritance of multiple transgenes in rice plants. **Nature Biotechnology**, New York, v. 16, n. 11, p. 1060-1064, Nov. 1998.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra de grãos**: milho total, 1ª e 2ª safra, outubro/2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 1 dez. 2010.

CONCEIÇÃO, M. Z. Contribuições das associações de agronegócios e insumos agrícolas no avanço tecnológico: produtos fitossanitários. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA DO CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 1., 2004, Cuiabá. **Resumos Expandidos...** Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2004. 1 CD-ROM.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Em dia com a ciência**. Piracicaba, 2002. Disponível em: <[http://www.cib.org.br/em\\_dia.php?id=20](http://www.cib.org.br/em_dia.php?id=20)>. Acesso em: 15 ago. 2010.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Eventos aprovados pela CTNBio**. Disponível em: <<http://www.cib.org.br/ctnbio.php>>. Acesso em: 17 mar. 2010.

COSTA, E. N. F. et al. Herança da senescência retardada em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 207-213, fev. 2008.

CROSSA, J. Statistical analysis of multilocations trials. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 44, n. 1, p. 55-85, Feb. 1990.

CRUZ, C. D. **Programa GENES**: estatística experimental e matrizes. Viçosa, MG: UFV, 2006. 285 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 585 p.

CRUZ, I. et al. Controle da lagarta-do-cartucho com inseticidas aplicados mecanicamente nas culturas de milho e sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 6, p. 575-581, jun. 1983.

CRUZ, I.; VIANA, P. A.; WAQUIL, J. M. **Sistema de produção**: cultivo de milho. Brasília: EMBRAPA, 2007. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 2 nov. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Contribuição da Embrapa sobre a introdução de eventos de milho geneticamente modificados para tolerância a herbicidas e para resistência a insetos listados na chamada 01/2007, da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança.**

Disponível em: <[http://www.ctnbio.gov.br/upd\\_blob/0001/1089.doc](http://www.ctnbio.gov.br/upd_blob/0001/1089.doc)>. Acesso em: 4 nov. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Resultados dos ensaios nacionais.** Brasília, 2008. 12 p.

FAGIOLI, M.; SOUZA, N. O. S.; COSTA, E. N. Comportamento da planta e a resposta à adubação nitrogenada de genótipo de milho transgênico. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: UFG, 2010. p. 306.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Cuiabá: Agropecuária, 2000. 360 p.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development.** New York: Macmillan, 1987. 487 p.

FERNANDES, O. D. et al. Efeito do milho geneticamente modificado MON 810 sobre a lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 25-35, ago. 2003.

FERREIRA, D. F.; ZAMBALDE, A. L. Simplificação das análises de algumas técnicas especiais da experimentação agropecuária no Mapgen e softwares correlatos. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA A AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA, 1., 1997, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Agrosoft, 1997. p. 54-60.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Statistical database.** Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/340/default.aspx>>. Acesso em: 15 nov. 2010.

GIANESSI, L. P.; CARPENTER, J. E. **Agricultural biotechnology: insect control benefits.** Washington: National Center for Food and Agricultural Policy, 1999. 78 p.

GRAEBER, J. V.; NAFZINGER, E. D.; MIES, D. W. Evaluation of transgenic Bt-containing corn hybrids. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 12, n. 4, p. 659-663, Dec. 1999.

JAMES, C. **Global status of commercialized biotech/GM crops**. Ithaca: ISAAA, 2008. 40 p.

JAMES, C. **Global status of commercialized biotech/GM crops**. Ithaca: ISAAA, 2009. 42 p.

JAUHAR, P. P. Modern biotechnology as an integral supplement to conventional plant breeding: the prospects and challenges. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 4, p. 1841-1859, July/Aug. 2006.

JIANG, G. H. et al. The genetic basis of stay-green in rice analyzed in a population of doubled haploid lines derived from an indica by japonica cross. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 108, n. 5, p. 668-698, Feb. 2004.

KANG, M. S. Using genotype by environment interaction for crop cultivar blending ability in aot. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 4, p. 199-252, Dec. 1998.

KANG, M. S.; MAGARI, R. New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. In: KANG, M. S.; GAUCH JUNIOR, H. G. **Genotype by environment interaction**. New York: Elsevier, 1996. p. 11-14.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, n. 1, p. 193-198, Jan. 1988.

LIN, C. S.; BINNS, M. R.; LEFKOVITCH, L. P. Stability analysis: where do we stand? **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 5, p. 894-900, Sept. 1986.

LISBÃO JÚNIOR, L. Avaliação e interpretação da interação genótipos por ambientes: I., estabilidade fenotípica. In: CONGRESSO FLORESTAL E DO MEIO AMBIENTE DO PARANÁ, 3., 1991, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Associação Paranaense de Engenheiros Florestais, 1991. p. 189-201.

LIU, W. et al. Somatic embryo cycling: evaluation of a novel transformation and assay system for seed-specific gene expression in soybean. **Plant Cell Tissue Organ Culture**, Dordrecht, v. 47, n. 1, p. 33-42, Jan. 1996.

LYNCH, P. T. et al. The phenotypic characterization of R<sub>2</sub> generation transgenic rice plants under field and glasshouse conditions. **Euphytica**, Wageningen, v. 85, n. 1, p. 395-401, Feb. 1995.

MAGG, T. et al. Comparison of *Bt* maize hybrids with their non-transgenic counterparts and commercial varieties for resistance to European corn borer and for agronomic traits. **Plant Breeding**, Berlin, v. 120, n. 5, p. 397-403, Oct. 2001.

MAHESWARI, M. et al. Metabolic engineering using *mtlD* gene enhances tolerance to water deficit and salinity in sorghum. **Biologia Plantarum**, Copenhagen, v. 54, n. 4, p. 647-652, Apr. 2010.

MARIOTTI, J. A. et al. Analisis de estabilidad y adaptabilidad de genótipos de caña de azúcar. **Revista Agronomica del Noroeste Argentino**, Tucuman, v. 13, n. 1/4, p. 105-127, 1976.

MONSANTO EUROPA. **Cultivo de variedades de milho YieldGard® protegidas contra brocas**. Disponível em: <[http://www.monsanto.es/Novedad/guia\\_yieldgard\\_2006\\_portugues.pdf](http://www.monsanto.es/Novedad/guia_yieldgard_2006_portugues.pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2009.

MUNKVOLD, G. P.; HELLMICH, R. L.; RICE, L. G. Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic *Bt* maize hybrids and non-transgenic hybrids. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 83, n. 2, p. 130-138, Feb. 1999.

MUNKVOLD, G. P.; HELLMICH, R. L.; SHOWERS, W. B. Reduced *Fusarium* ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 87, n. 10, p. 1071-1077, Oct. 1997.

NOODEN, L. D.; GUIAMET, J. J.; JOHN, I. Senescence mechanisms. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 101, n. 4, p. 746-775, Dec. 1997.

PATERNIANI, E. From wild to transgenic plants. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 8, n. 1, p. 169-178, 2001.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2000. 326 p.

- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. Lavras: UFLA, 2008. 464 p.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicação ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2002. 975 p.
- RICE, M. E. Yield performance of *Bt* corn. **Integrated Crop Management**, Ames, v. 480, n. 1, Jan. 1998. Disponível em: <<http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/1998/1-19-1998/yieldbt.html>>. Acesso em: 16 ago. 2009.
- ROBERTSON, A. **Experimental design on the measurement of heritabilities and genetic correlations: biometrical genetics**. New York: Pergamon, 1959. 186 p.
- SANFORD, J. et al. Delivery of substances into cells and tissues using particle bombardment process. **Particulate Science Technology**, Philadelphia, v. 5, n. 1, p. 27-37, Jan./Feb. 1987.
- SILVA, W. C. M. et al. Temperatura do ar e a duração dos estádios fenológicos do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 12., 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: CEFET, 2001. Disponível em: <<http://www.md.cefetpr.br/grigoletto/artigo1.pdf>>. Acesso em: 4 set. 2010.
- SIQUEIRA, J. O. et al. Interferências no agrossistema e riscos ambientais de culturas transgênicas tolerantes a herbicidas e protegidas contra insetos. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 11-21, jan./abr. 2004.
- SRUJANA, S. **Study of BC<sub>1</sub> progeny in Bt transgenic sorghum plants with cry 1B gene**: master of science thesis. Rajendranagar: Angra, 2006. 126 p.
- STATISTICAL ANALYSIS SOFTWARE INSTITUTE. **SAS/STAT software**. Version 8.2. Cary, 1999. 3695 p.

TWYMAN, R. M.; CHRISTOU, P.; STÖGER, E. Genetic transformation of plants and their cells. In: OKSMAN-CALDENTEY, K. M.; BARZ, W. H. (Ed.). **Plant biotechnology and transgenic plants**. New York: M. Dekker, 2002. p. 111-141.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

VISARADA, K. B. R. S. et al. Transgenic breeding: perspectives and prospects. **Crop Science**, Chicago, v. 49, n. 5, p. 1555-1563, Sept./Oct. 2009.

WANG, K.; FRAME, B. Maize transformation. In: CURTIS, I. S. (Ed.). **Transgenic crops of world: essential protocols**. Dordrecht: Kluwer, 2004. p. 45-62.

WAQUIL, J. M.; VILLELA, F. M. F.; FOSTER, J. E. Resistência do milho (*Zea mays* L.) transgênico (*Bt*) à lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 3, p. 1-11, 2002.

WILLIAMS, W. P. et al. Transgenic corn evaluated for resistance for all armyworm and southwestern corn borer. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 3, p. 957-962, May 1997.

WOBETO, C.; RAMOS, G. A. Competição entre híbridos de milho convencionais e transgênicos, com e sem aplicação de fungicidas, em Guarapuava, PR, na safra 2009/2010. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: UFG, 2010. p. 300.

WRICKE, G. Zur berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer. **Zeitschrift für Pflanzenzuchtung**, Berlin, v. 52, p. 127-138, 1965.

WU, L. et al. Expression and inheritance of nine transgenes in rice. **Transgenic Research**, Philadelphia, v. 11, n. 5, p. 533-541, Oct. 2002.

ZAMARIOLA, N. et al. Avaliação de híbridos de milho convencionais e os respectivos transgênicos quanto a rendimento de grãos e danos por pragas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: UFG, 2010. p. 273.

## ANEXOS

Tabela 1A Resumo das análises de variância individuais para a produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), de híbridos de milho transgênicos e suas respectivas versões convencionais, em diferentes locais da região Sul de Minas Gerais. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	Campo do Meio		Lavras		Paraguaçu		Madre de Deus	
		QM	Pr>F	QM	Pr>F	QM	Pr>F	QM	Pr>F
Blocos	2	46.889,19	0,9397	956.492,88	0,3932	186.468,87	0,8214	1.562.415,28	0,2488
Híbridos (H)	5	2.198.709,05	0,0336	3.364.889,11	0,0193	794.109,70	0,5322	694.261,13	0,6581
Tipos (T)	1	6.763.868,05	0,0062	25.684,07	0,8730	6.162,25	0,9362	1.166.242,50	0,3042
H*T	5	430.284,62	0,7131	1.189.890,12	0,3365	989.658,74	0,4120	526.370,31	0,7732
Resíduo	22	738.733,1		981.946,87		939.151,82		1.053.530,86	
CV (%)		12,5		12,5		11,3		10,6	
Média (kg ha <sup>-1</sup> )		6.863,6		7.951,7		8.534,3		9.650,9	

Tabela 2A Resumo das análises de variância individuais para a altura de espiga, de híbridos de milho transgênicos e suas respectivas versões convencionais, em diferentes locais da região Sul de Minas Gerais. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	Campo do Meio		Lavras		Paraguaçu		Madre de Deus	
		QM	Pr>F	QM	Pr>F	QM	Pr>F	QM	Pr>F
Blocos	2	169,44	0,1128	14,58	0,8804	14,5	0,8766	4,86	0,8605
Híbridos (H)	5	152,77	0,0938	81,67	0,6171	108,33	0,4494	405,69	<0,0001
Tipos (T)	1	469,44	0,0169	25,00	0,6439	25,00	0,6383	84,02	0,1201
H*T	5	137,77	0,1245	86,67	0,5872	166,67	0,2259	695,69	<0,0001
Resíduo	22	70,20		113,82		110,03		32,13	
CV (%)		6,91		9,27		7,86		4,42	
Média (kg ha <sup>-1</sup> )		121		115		133		128	

Tabela 3A Resumo das análises de variância individuais para a altura de plantas, de híbridos de milho transgênicos e suas respectivas versões convencionais, em diferentes locais da região Sul de Minas Gerais. UFLA, Lavras, MG, 2010

FV	GL	Campo do Meio		Lavras		Paraguaçu		Madre de Deus	
		QM	Pr>F	QM	Pr>F	QM	Pr>F	QM	Pr>F
Blocos	2	508,33	0,0361	54,86	0,6372	25,69	0,7933	29,86	0,4413
Híbridos (H)	5	174,58	0,2876	602,77	0,0031	112,36	0,4280	244,44	0,0005
Tipos (T)	1	367,36	0,1082	400,00	0,0806	84,02	0,3911	11,11	0,5797
H*T	5	355,69	0,0468	58,33	0,7807	162,36	0,2369	1401,11	<0,0001
Resíduo	22	131,06		119,25		109,78		35,16	
CV (%)		4,95		5,06		4,27		2,60	
Média (kg ha <sup>-1</sup> )		231		215		245		227	