

GERSON ADRIANO SILVA

FATORES DE PERDAS DE PRODUTIVIDADE E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE
PRAGAS EM MILHO Bt Cry1Ab

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586f
2013

Silva, Gerson Adriano, 1979-

Fatos de perdas de produtividade e distribuição espacial de pragas em milho Bt Cry1Ab / Gerson Adriano Silva. – Viçosa, MG, 2013.

x, 72f. : il. (algumas color.) ; 29cm.

Orientador: Marcelo Coutinho Picanço

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Milho - Doenças e pragas. 2. Pragas agrícolas. 3. Plantas transgênicas. 4. Milho - Rendimento. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.1596

GERSON ADRIANO SILVA


FATORES DE PERDAS DE PRODUTIVIDADE E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL
DE PRAGAS EM MILHO Bt Cry1Ab

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 08 de Março de 2013


Júlio Cláudio Martins


Raul Narciso Carvalho Guedes


Lino Roberto Ferreira
(Coorientador)


Eliseu José Guedes Pereira


Marcelo Coutinho Picanço
(Orientador)

Há três métodos para ganhar sabedoria: primeiro, por reflexão, que é o mais nobre.

Segundo, por imitação, que é o mais fácil.

Terceiro, por experiência, que é o mais amargo.

Escolhe um trabalho de que gostes, e não terás que trabalhar nem um dia na tua vida.

Confúcio

À Deus, a quem devo tudo

Agradeço!

*Aos meus pais Antônio Batista da Silva e Inês das Graças Rodrigues Silva, por
me preparar para vida;*

*Aos meus irmãos Nilson, Denis, Carlos, José Aparecido e a minha irmã Lúcia,
pela amizade;*

A minha bela esposa Karla, pela atenção, paciência e companheirismo;

A minha recém chegada filha, Anna Beatriz, pela alegria imensurável.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa e recursos para a execução dessa pesquisa.

Ao professor Marcelo Coutinho Picanço, pela participação na minha formação, orientação e amizade ao longo desses anos de convívio. Meus agradecimentos a sua esposa Kátia e às filhas Mayara e Luiza e ao seu filho Marcelo Filho pela amizade e pelos momentos agradáveis proporcionados.

Ao professor Eliseu José Guedes Pereira pela amizade, presteza, e pelas consultas extra-oficiais.

Aos membros da banca de defesa Raul Narciso Carvalho Guedes, Eliseu José Guedes Pereira, Lino Roberto Pereira e Júlio Cláudio Martins pelas críticas, sugestões e dedicação na melhoria do trabalho.

Às secretárias do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Rafaela e Tatiana, pela dedicação e seriedade.

Ao funcionário José Evaristo, pela amizade e por sempre estar à disposição em ajudar.

Aos colegas da Pós-graduação do Laboratório de Manejo Integrado de Pragas: Adriano, Antônio, Geversson Aelton, Jander, Jorgiane, Mayara, , Paulo, Reginaldo, Renata, Ricardo, Rodrigo, Rogério, Silvério, Thadeu, Tarcísio, Tiago e Vânia Maria pelo convívio, troca de conhecimentos e especialmente pelas ajudas neste trabalho.

Aos mestres e doutores que passaram pelo Laboratório de Manejo Integrado de Pragas: Bacci, Elisa, Elisangela, Ézio, Emerson, Flávio, Jardel, Júlio, Matheus Chediak, Pablo e Renan.

Aos estagiários do Laboratório de Manejo Integrado de Pragas: Dalton, Elenir, Elizeu, Izailda, João, Joel, Mirian, Obiratânia, Reginaldo, Silvério, Suzana, Thadeu, Tiago e Ubiratânia, pela amizade e valiosa ajuda durante a execução deste trabalho.

Ao professor Lino Roberto Ferreira e ao engenheiro agrônomo Rogério (Emater-Viçosa-MG) pela ajuda concedida na montagem dos experimentos.

Aos colegas do curso de mestrado e doutorado pelo agradável convívio durante as disciplinas.

A minha querida esposa Karla pela amizade companheirismo, confiança, compreensão aos longos dos anos de vivência. A minha adorável filha Anna Beatriz pelas noites mal dormidas e pela esperança de que podemos fazer um mundo melhor.

Ao meu irmão Nilson pelo companheirismo e pelas trocas de informações. A minha mãe Inês e ao meu pai Antônio e aos meus irmãos pela amizade, compreensão e estímulo apesar da distância.

Por fim, a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

GERSON ADRIANO SILVA, filho de Antônio Batista da Silva e Inês das Rodrigues Silva, nasceu em Itabira, Minas Gerais. 03 de setembro de 1979.

Cursou o ensino médio na Escola Estadual Professora Antônia Moreira. Em maio de 2002, ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em fevereiro de 2007. Durante a graduação, de maio de 2002 a fevereiro de 2007, foi estagiário no Laboratório de Manejo Integrado do Departamento de Entomologia da UFV, sob orientação do Prof. Marcelo Coutinho Picanço. Neste período desenvolveu vários trabalhos na área de Manejo Integrado de Pragas em diversas culturas. Foi bolsista de Iniciação Científica do pelo FAPEMIG e CNPQ. Foi monitor da disciplina de Entomologia Agrícola por quatro semestres. Em março de 2007 ingressou no curso de mestrado do Programa de Pós-graduação em Entomologia na Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em fevereiro de 2009. Em seguida, ingressou no Doutorado em Fitotecnia na mesma instituição, durante o período do doutorado foi tutor por dois anos do curso “Pós-Graduação *Latu Sensu* Proteção de Plantas”. A defesa da tese de doutorado ocorreu em 08 de março de 2013.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS CONSULTADAS	6
CAPÍTULO I. FATORES DE PERDAS DE PRODUTIVIDADE EM MILHO Bt Cry1Ab	9
Resumo.....	9
Abstract.....	11
Introdução.....	12
Material e Métodos.....	15
Resultados.....	20
Discussão.....	33
Referências Consultadas.....	39
CAPÍTULO II - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS FATORES DE PERDAS NO MILHO Bt E NÃO-Bt	45
Resumo.....	45
Abstract.....	47
Introdução.....	49
Material e Métodos.....	53
Resultados.....	56
Discussão.....	61
Referências Consultadas.....	67
CONCLUSÕES GERAIS	72

RESUMO

SILVA, Gerson Adriano, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2013. **FATORES DE PERDAS DE PRODUTIVIDADE E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE PRAGAS EM MILHO Bt Cry1Ab.** Orientador: Marcelo Coutinho Picanço. Co-orientadores: Lino Roberto Ferreira e Antônio Alberto da Silva.

Esta tese foi desenvolvida em dois capítulos. No primeiro estudou-se os componentes crítico e os fatores chave de perdas no milho Bt e não-Bt em duas localidades (Localidade 1 e 2). A Localidade 1 apresentava solos com baixa fertilidade e alta saturação de alumínio, a Localidade 2 apresentava solos com alta fertilidade e baixa saturação de alumínio. No segundo capítulo estudou-se a distribuição espacial de das injúrias de *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) e *Euxesta* spp. (Diptera: Otitidae) e de adultos de *Sitophilus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) e *Cathartus quadricollis* (Guerin-Meneville) (Coleoptera: Silvanidae) em lavouras de milho Bt e não-Bt. Para determinação do componente crítico e dos fatores chave de perda monitorou-se a mortalidade de plantas e as perdas de espigas e de grãos. Para o estudo da distribuição espacial foram coletadas de 280 a 405 amostras por lavoura. Cada ponto amostral era constituído por cinco espigas de milho. As distâncias entre os pontos amostrais foram de oito metros. As espigas foram levadas para laboratório, onde foi realizada a avaliação das injúrias da *H. zea*, *S. frugiperda* e da *Euxesta* spp. e a contagem do número de adultos de *Sitophilus* spp. e *C. quadricollis*. As perdas de grãos foi o componente crítico de perdas dos milhos

cultivados nas duas localidades ao longo dois anos de cultivo. O fator chave de perdas para os milhos cultivados, na Localidade 1, no primeiro cultivo foi grãos defeituosos e no segundo ano foi *H. zea*. O fator chave de perdas para os milhos cultivados, na Localidade 2, foram às perdas causadas pela *Euxesta* spp. no primeiro ano e grãos defeituosos no segundo ano. Houve ajustamento de semivariogramas isotrópicos no milho Bt e no não-Bt para as injurias de *H. zea*, *S. frugiperda* e da *Euxesta* spp. e do número de adultos de *Sitophilus* spp. e de *C. quadricollis*. Houve tendência de movimentação dos insetos ao longo e entre as linhas de cultivo dos milhos dos dois anos de amostragem.

ABSTRACT

SILVA, Gerson Adriano, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2013. **Loss factors and spatial distribution of pests in Bt corn Cry1Ab**. Adviser: Marcelo Coutinho Picanço. Co-advisers: Lino Roberto Ferreira and Antônio Alberto da Silva.

This thesis has been developed in two chapters. At first we studied the critical components and key factors of loss on Bt and non-Bt in two locations, one with low fertility soils and high aluminum saturation (Location 1) and another location had soils with high fertility and low aluminum saturation (Location 2). In the second chapter we studied the spatial distribution of injuries *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and *Euxesta* spp. (Diptera: Otitidae) and adults of *Sitophilus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) and *Cathartus quadricollis* (Guerin-Meneville) (Coleoptera: Silvanidae) in corn fields Bt and non-Bt. To determine the critical component and loss of the key factors were monitored plant mortality and loss of corn ear and grains. To study the spatial distribution were collected 280-405 samples per crop. Each sampling point consisted of five corn cobs. The distances between the sampling points were eight meters. The cob corns were taken to the laboratory, where it was performed evaluating the injuries of *H. zea*, *S. frugiperda* and *Euxesta* spp. and counting the number of adults of *Sitophilus* spp. and *C. quadricollis*. The grain loss was the critical component of losses to corn grown in two locations along two years of cultivation. The key factor in losses for corn grown, in Location 1, was corn defective grain and the second year was *H. zea*. The key factor in losses for corn grown, in Location 2,

was caused by *Euxesta* spp. in the first year and defective grains in the second year. There was adjustment isotropic semivariograms in Bt and non-Bt for injuries *H. zea*, *S. frugiperda* and *Euxesta* spp. and the number of adults of *Sitophilus* spp. and *C. quadricollis*. There was a tendency of moving insects along and between corn rows during the two years of sampling.

INTRODUÇÃO GERAL

Apesar de ser intensivamente cultivada no país a cultura do milho apresenta baixa produtividade. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) a produtividade média nacional no ano agrícola de 2011/2012 foi de 4538 Kg.ha⁻¹. Esta produtividade é menor que a de países como França, Itália e Estados Unidos, onde a produtividade média do milho é superior a 8.000 Kg.ha⁻¹. Dentre os fatores responsáveis por esta baixa produtividade no país, se destaca as perdas de produtividades, devido ao ataque de pragas, intempéries climáticas e as baixas tecnologias de produção. Estima-se que sejam gastos, anualmente, no Brasil em torno de US\$ 60 milhões em inseticidas para o manejo das principais pragas do milho. Dentre essas, as mais importantes pragas dessa cultura no Brasil são a lagarta da espiga, *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), são consideradas as mais importantes pragas da cultura no Brasil, podendo causar grandes prejuízos a cultura (Cruz 1995).

Estudos têm apontado sérios problemas para o controle dessa praga, principalmente em regiões do Brasil, onde se cultiva o milho durante o ano todo (Picanço et al., 2004). Isso tem acarretado aumento no custo de produção, devido às aplicações intensivas de inseticidas e impactos negativos sobre as populações de inimigos naturais e ao meio ambiente (Ishtiaq et al., 2012).

A grande maioria das culturas transgênicas resistentes a insetos expressam genes derivados da bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner. Estas

plantas apresentam eficácia de controle a campo igual ou superior aos inseticidas convencionais (Laserna et al., 2012), além de serem compatíveis com os princípios do manejo integrado de pragas, pois possibilitam a redução no uso de inseticida, possibilitando desta maneira um controle adequado das pragas (Paoletti & Pimentel, 2000).

A *Bacillus thuringiensis* é uma bactéria gram-positiva formadoras de esporos com propriedades entomopatogênicas. Esses organismos têm sido empregados há muitos anos como inseticida microbiano para o controle de pragas agrícolas e insetos vetores de doenças. Mais recentemente vem sendo utilizado como uma nova ferramenta para o controle de pragas através de sua expressão em plantas. A atividade entomopatogênica desse microrganismo deve-se à presença de uma inclusão cristalina produzida durante a esporulação (pró-toxinas). Esta inclusão cristalina composta por proteínas denominadas α -endotoxinas ou proteínas cristal (Cry), apresenta ação tóxica e específica para larvas de insetos das ordens Lepidoptera, Diptera e Coleoptera. Essas toxinas são específicas para os insetos alvos e são inócuos para os seres humanos, vertebrados e plantas. Constituindo assim, uma alternativa viável para o controle de insetos pragas na agricultura e de insetos vetores de doenças como dengue, febre-amarela e malária (Bravo et al., 2007).

A primeira geração de plantas transgênicas é caracterizada pela resistência a insetos ou tolerância a herbicidas. Já a segunda geração de transgênicos é marcada pela combinação de duas ou mais características em uma única planta. Essas plantas contem a combinação de genes responsáveis pela a produção de diferentes proteínas que as fazem resistentes a insetos ou genes que conferem resistência a insetos e tolerância a herbicidas (Chilton, 2005; Sharma et al., 2005).

A obtenção de plantas com as características citadas acima, só foi possível com o desenvolvimento da tecnologia do DNA recombinante, no qual têm permitido a manipulação e a inserção de genes exógenos ao genoma de plantas e animais. Essa alteração envolve efeitos intencionais (características desejadas) e os efeitos não intencionais, que são os decorrentes da alteração de algum atributo da planta transgênica (Verma et al., 2011). No entanto, essas alterações podem refletir em riscos aos organismos que coexistem no mesmo

habitat ou que utilizam as plantas como alimento. Dentre os riscos potenciais associados ao milho transgênicos têm-se a saúde humana e ao meio ambiente.

Vários fatores podem influenciar os surtos de pragas secundárias, sendo que a redução das populações de inimigos naturais, alterações na fisiologia das plantas, modificações de métodos de controle e reduções na população de espécies concorrentes, são tidos como os mais prováveis (Gross & Rosenheim, 2011). Inimigos naturais são dependentes das densidades populacionais de suas presas/hospedeiros. A mortalidade das pragas e a intoxicação dos inimigos naturais pelo consumo de pragas contaminadas podem comprometer o estabelecimento e a manutenção de populações de inimigos naturais nas áreas cultivadas com culturas Bt, resultando em condições favoráveis ao surto populacional de pragas secundárias (Lu et al., 2010).

Nesse contexto, as tabelas de vidas de culturas constituem um instrumento adequado para verificação de possíveis alterações nos regimes de pragas, por possibilitar identificação dos fatores de perdas e quantificação das perdas causadas por esses nas lavouras, permitindo relacionar a ocorrência dos fatores de perda com os períodos de maior risco para a cultura. Além disso, as tabelas de vida permitem avaliar a eficiência dos métodos de controle devido acompanhamento rigoroso das culturas (Picanço et al., 2004; Bacci et al., 2006).

As tabelas de vida possibilitam a obtenção de dados cumulativos e comparáveis de mortalidade, sobrevivência e esperança de vida de uma população (Southwood, 1978). As tabelas de vida foram desenvolvidas inicialmente por companhias de seguro de vida em estudos de expectativa de vida de populações humanas e, posteriormente, foram utilizadas em estudos de dinâmica populacional de insetos (Harcourt, 1969). O primeiro emprego da tabela de vida no estudo de perdas na produção das culturas foi realizado por Harcourt (1970) em repolho. Posteriormente, Chandler (1977), complementou essa metodologia, estudando as perdas no componente de produção do feijoeiro. Dessa forma, a tabela de vida das culturas permite a identificação e quantificação das causas de perdas diretas na produção, possibilitando a busca de alternativas que possam minimizá-las (Harcourt, 1970; Picanço et al., 2004).

As táticas de controle de uso planejado, tais como a resistência de plantas, o controle biológico e práticas culturais, podem contribuir para manter as densidades populacionais de fitófagos abaixo do nível de dano econômico. Todavia, a maioria dessas táticas são preventivas e, mesmo sendo utilizadas de forma correta, os insetos fitófagos podem ainda atingir o status de praga. Nessa situação, deve-se adotar uma medida de controle terapêutica, sendo, neste caso, o controle químico o mais empregado. A escolha do inseticida a ser utilizado, assim como o melhor momento de sua aplicação, é de extrema importância para se ter eficiência de controle agredindo o mínimo possível o ambiente (Kovach et al., 1992). Visando a racionalização do uso de inseticidas deve-se utilizar métodos de amostragens eficientes, os quais devem possibilitar a obtenção de resultados de densidades populacional/injúrias das pragas que aproximem ao máximo do valor real (Hillhose & Pitre, 1974; Goring, 2004).

O sucesso do controle de pragas é influenciado pela estrutura da paisagem e de como os organismos interagem espacial e temporalmente com paisagens heterogêneas (Turner, 1989). As culturas anuais representam fragmentos de paisagem temporários e suas presenças são determinantes para a movimentação, distribuição e colonização por pragas.

Os padrões espaciais exibidos por uma espécie resultam da interação entre o inseto e seu habitat e podem advir das características comportamentais da espécie. Os padrões de distribuição espacial afetam a precisão da amostragem e análise dos dados, sendo que as distribuições estatísticas são fortemente influenciadas pela escolha da unidade amostral. O conhecimento do padrão da distribuição permite concentrar esforço amostral e direcionar o manejo para os locais onde eles se encontram (Hassel, 1987; Barrigossi et al., 2001). Esse padrão tem sido determinado através da análise de distribuição de frequência dos dados, que se baseia na relação existente entre a média e a variância, desconsiderando o fator espaço (Krebs, 1989). A distribuição de frequência é afetada pela distribuição espacial, mas não representa a distribuição no espaço. Uma opção para determinar a dependência espacial entre as amostras é a adoção da geoestatística (Ellsbury et al., 1998; Whigt et al., 2002).

A geoestatística envolve a utilização de métodos de correlação, covariância e funções de semivariância para descrever os padrões espaciais dos indivíduos. São utilizadas informações dos valores e localização das amostras para determinar a correlação entre pontos e direção de amostragem. Assim, este método pode determinar a influencia espacial de uma variável em determinada escala e direção. A geoestatística testa se o valor observado de uma variável, para um determinado local, é dependente de valores dos locais vizinhos. Caso exista dependência, a variável exibe autocorrelação espacial. Para a modelagem da dependência espacial em estudos entomológicos com geoestatística é utilizada a função de semivariância, onde os semivariogramas constituem em modelos adequados para medir o padrão de distribuição espacial de insetos (Barrigossi et al., 2001; Bacca et al., 2006).

O conhecimento do padrão de distribuição espacial de pragas constitui uma ferramenta importante para o planejamento de táticas de controle e gera conhecimentos para confecção de planos de amostragem. A amostragem de pragas nos agroecosistemas é normalmente baseada na avaliação de injúrias/presença das pragas. Já para outros insetos que atacam os grãos, a amostragem é realizada nas unidades armazenadoras. Entretanto, a infestação acontece ainda no campo, havendo necessidade de conhecer seus padrões de distribuição espacial e dispersão a campo, a fim de se viabilizar a utilização de sistemas de amostragens e de controle das pragas antes da colheita. Isto minimizaria o trânsito desses insetos e eventual contaminação de unidades armazenadoras.

Diante do exposto, esta tese tem por objetivo estudar a dinâmica de pragas em lavouras de milho Bt e não-Bt, para isso foram confeccionado capítulos. No primeiro capítulo foi proposta a elaboração de tabelas de vida de cultura, visando identificar e quantificar os fatores de perda e sua importância na produtividade do milho Bt, e no segundo capítulo foi proposto o estudo da distribuição espacial dos principais insetos pragas de milho na fase reprodutiva.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

- Bacca T.; Lima, E. R.; Picanço, M. C.; Guedes, R. N. C.; Viana, J. H. N. Optimum spacing of pheromone traps for monitoring the Coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 119, 39-45, 2006.
- Bacci, L.; Picanço, M. C.; Gonring, A. H. R.; Guedes, R. N. C.; Crespo, A. L. B. Critical yield components and key loss factors of tropical cucumber crops. *Crop Protection*. 25, 1117-1125, 2006.
- Barrigossi, J. A. F.; Young, L. J.; Crawford, C. A. G.; Hein, G. L.; Higley, L. G. Spatial and probability distribution of Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) egg mass populations in dry bean. *Environmental Entomology*. 30, 244-253, 2001.
- Bravo, A.; Gill, S. S.; Soberón, M. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon*. 49, 423-435, 2007.
- Chandler L. Annual Report for 1976. Goiânia-GO. 47 p, 1977.
- Chilton, M. D. Adding diversity to plant transformation. *Nature Biotechnology*. 23, 309-10, 2005.
- Cruz, I.; Alvarenga, C. D.; Figueiredo, P. E. F. Biologia de Doru luteipes (Scudder) e sua capacidade predatória de ovos de *Helicoverpa zea* (Boddie). *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*. 24, 273-278, 1995.
- Ellsbury, M. M.; Powell, J. E.; Forcella, F.; Woodson, W. D.; Clay, S. A.; Riedell, W. E. 1998. Diversity and dominant species of ground beetle assemblages (Coleoptera: Carabidae) in crop rotation and chemical input systems for the northern Great Plains. *Annals of the Entomological Society of America*. 91, 619-625, 1998.
- Gonring, A. H. R. Sistema de tomada de decisão para o Manejo Integrado de *Tuta absoluta* (Meyrick) na cultura do tomate. Tese de Doutorado em Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 173p, 2004.

- Gross, K. & Rosenheim, J. A. Quantifying secondary pest outbreaks in cotton and their monetary cost with causal-inference statistics. *Ecological Applications*. 21, 2770-2780, 2011.
- Harcourt, D.G. Crop life tables as a pest management tool. *Canadian Entomologist*. 102, 950-955, 1970.
- Harcourt, D. G. Development and use of life tables in study of natural insect populations. *Annual Review of Entomology*. 14, 175-196, 1969.
- Hassel, M. P. Detecting regulation in a patchly distributed animal populations. *Journal of Animal Ecology*. 56, 705-713, 1987.
- Hillhouse, T. L. & Pitre, H. N. Comparison of sampling techniques to obtain measurements of insect populations on soybeans. *Journal Economic Entomology*. 67, 411-414, 1974.
- Ishtiaq, M.; Saleem, M. A.; Razaq, M. Monitoring of resistance in *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) from four districts of the Southern Punjab, Pakistan to four conventional and six new chemistry insecticides. *Crop Protection*. 33, 13-20, 2012.
- Kovach, J.; Petzoldt, C.; Degni, J. A method to measure the environmental impact of pesticides. New York State IPM Program, Cornell University. 139p, 1992.
- Krebs, C. J. *Ecological Methodology*. New York: Harper & Row, 654p, 1989.
- Laserna, M.P.; Maddonna, G.A.; López, C.G. Phenotypic variations between non-transgenic and transgenic maize hybrids. *Field Crops Research* 134, 175-184, 2012.
- Lu, Y.; Wu, K.; Jiang, Y.; Xia, B.; Li, P.; Feng, H.; Wyckhuys, K.; Guo, Y. Mirid Bug Outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science*. 328, 1151-1154, 2010.
- Paoletti, M. G & Pimentel, D. Environmental risks of pesticides versus genetic engineering for agricultural pest control. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 12, 279-303, 2000.
- Picanço, M. C.; Paula, Semeão, A. A.; Galvão, J. C. C.; Silva, É. M.; Barros, E. C. Fatores de perdas em cultivares de milho safrinha. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 26, 161-167, 2004.
- Sharma, K. K.; Bhatnagar-Mathur, P.; Thorpe, T. A. Genetic transformation technology: Status and problems. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. 41, 102-12, 2005.
- Silveira Neto, S.; Nakano, O.; Barbin, D.; Villa Nova, N. A. *Manual de ecologia dos insetos*. Piracicaba, Ed. Agronômica Ceres, 419p, 1976.
- Southwood, T. R. E. *Ecological Methods*. Halsted Press, Chapman and Hall. London. 524p, 1978.
- Turner, M. G. Landscape ecology: The effect of pattern on process. *Annual Review of Ecological Systems*. 20, 171-197, 1989.

- Verma, C.; Nanda, S.; Singh, R. K.; Singh, R. B.; Mishra, S. Review on Impacts of Genetically Modified Food on Human Health. *The Open Nutraceuticals Journal*. 4, 3-11, 2011.
- Wright, G. C.; Smith, R. G.; McWilliam, J. R. Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. Crop growth rate and yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*. 34, 615-626, 1983.
- Young, J. R.; McMillian, W. W. Differential feeding by two strains of fall armyworm larvae on carbaryl treated surfaces. *Journal of Economic Entomology*. 72, 202-213, 1979.

CAPITULO I - FATORES DE PERDAS DE PRODUTIVIDADE EM MILHO Bt Cry1Ab

RESUMO - Este trabalho objetivou identificar e quantificar os fatores chaves de perdas e em lavouras de milho transgênico e convencional, por meio do uso de tabelas de vida de cultura. Este estudo foi realizado em duas localidades nas safras 2009/10 e 2010/11. A Localidade 1, apresentava solos com baixa fertilidade natural e alta saturação de alumínio, situação comum em grande parte dos solos brasileiros. A Localidade 2, apresentava solos com boa fertilidade e baixa saturação por alumínio. O milho transgênico utilizado foi o híbrido simples DKB 390 YG (Bt Cry1Ab), o convencional foi a isolinha DKB 390 (milho não-Bt). As perdas nos componentes de produção das culturas foram monitoradas ao longo de seus estádios fenológicos. Foram avaliados as mortalidades de plantas, as perdas de espigas e as perdas de grãos. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com oito repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, correlação e regressão. As perdas de grãos foram as que mais reduziram a produtividade do milho Bt e não-Bt. Os principais fatores de perdas dos grãos foram a lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*), a mosca-da-espiga (*Euxesta* spp.), a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), o caruncho-do-milho (*Sitophilus* spp.) e grãos defeituosos. Grãos defeituosos foram os fatores chave de perdas do milho Bt e não-Bt cultivados na Localidade 1 safra 2009/10, enquanto que, na Localidade 2 a *Euxesta* spp. foi o fator chave de perdas para os dois milhos. Na safra 2010/11 os danos causados pela *H. zea* foi o fator chave de perda para o milho Bt e não-Bt cultivado na Localidade 1, já na Localidade 2 o fator chave foi a

ocorrência de grãos defeituosos. Em conclusão, os componentes críticos de produção e os fatores de perdas do milho Bt são os mesmos do milho não-Bt, e os fatores de perdas variam em função do local de cultivo.

Palavras-chave: Tabela de vida, fator chave, insetos pragas, fertilidade do solo.

CHAPTER I - FACTORS OF LOST PRODUCTIVITY IN Bt Cry1Ab CORN

ABSTRACT-This study aimed to identify and quantify the key factors of losses in corn transgenic and non-transgenic, through the use of life tables crops. This study was conducted in two locations in crop 2009/10 and 2010/11. The Location 1 had soils with low fertility and high aluminum saturation, a common situation in most Brazilian soils. The Location 2 had soils with good fertility and low aluminum saturation. The transgenic corn used was hybrid DKB 390 YG (Bt Cry1Ab), was the conventional isoline DKB 390 (non-Bt corn). Losses in crop production components were monitored during their growth stages. We evaluated the mortality of plants, losses of ear of corn and grain losses. The experimental design was a completely randomized design with eight replications. Data were subjected to analysis of variance, correlation and regression. The grain losses were the most significant yield from Bt and non-Bt. The main factors were the loss of corn earworm (*Helicoverpa zea*), the cornsilk flies (*Euxesta* spp.), the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*), the maize weevil (*Sitophilus* spp.) and defective grains. Defective grains were the key factors of losses from Bt and non-Bt crop grown in Location 1 in 2009/10, while in Location 2 *Euxesta* spp. was the key factor of losses for the two corns. In 2010/11 crop damage caused by *H. zea* was the key factor for the loss of Bt and non-Bt grown in Location 1. However, in the Location 2, the key factor was the occurrence of defective grains. In conclusion, the critical components of production and loss factors of Bt corn are the same non-Bt corn, and loss factors vary according to the place of cultivation.

Keywords: life table, key factor, insect pests, soil fertility.

1.1. INTRODUÇÃO

Na safra 2007/08, o Brasil plantou 3,5 milhões de hectares (ha) com culturas transgênicas, na safra 2012/13 esse valor foi de 36,6 milhões de há, representando um crescimento de 945% em cinco anos, situação que coloca o Brasil na posição de segundo maior produtor de culturas transgênicas, atrás apenas dos Estados Unidos com uma área aproximada de 69 milhões de ha. A soja, o milho e o algodão são as culturas transgênicas predominantes, embora outras características agronômicas como produtividade, propriedades nutricionais e o empilhamento de duas ou mais características genéticas têm ganhado maior popularidade (Céleres, 2012).

Individualmente, a maior taxa de adoção de biotecnologia é observada na cultura da soja, onde 23,9 milhões de ha ou 88,1% da área total prevista para 2012/13 (27,1 milhões de ha) será cultivada com variedades transgênicas. A previsão para o uso de variedades transgênicas na safra de milho (verão + safrinha) é de 12,1 milhões de ha ou 75,0% da área total destinada ao cultivo de milho (Céleres 2012).

Brookes & Barfoot (2006) fizeram um estudo de impacto global do uso de plantas geneticamente modificadas entre 1996 e 2005 sobre os ganhos econômicos dos agricultores. A análise demonstrou que houve efeitos econômicos notáveis para o agricultor, com um total acumulado favorável de 27 bilhões de dólares, comparado ao que seria ganho se a tecnologia não fosse adotada. Além dos ganhos econômicos, tem-se a redução na aplicação de inseticidas, principalmente daqueles de amplo espectro, aumento na produção,

maior proteção de grãos armazenados contra os insetos-praga e menores níveis de micotoxinas, devido à redução dos danos causados pelas pragas (Munkvold et al., 1999; Dowd, 2000; Giles et al., 2000; Huang et al., 2002; Colli, 2011).

Vários estudos têm sido publicados desde a liberação comercial do milho Bt. Grande parte desses são relacionados a avaliação dos riscos ecológicos, resistência de pragas e tem-se dado atenção, também, ao desempenho do milho Bt, quanto a produção de biomassa e de grãos (Subedi & Ma, 2007; Coulter et al., 2010; Yu et al., 2011; Laserna et al., 2012). Porém existe uma lacuna de informações que ainda não foram ou tem sido pouco estudados nas culturas Bt, assuntos como ressurgência, mudança de status, surtos populacionais, distribuição espacial de pragas, dentre outros.

As plantas Bt cultivadas no Brasil, na sua totalidade expressam genes derivados da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt), que conferem resistência a lepidópteros-pragas. Assim, espera-se que nas lavouras Bt as pragas alvos sejam controladas e que as perdas causadas por essas sejam menores do que nas lavouras não-Bt (Michelotto et al., 2011; Lacerda et al., 2012). No entanto, o cultivo de plantas Bt pode alterar o regime de pragas, levando a ocorrência de surtos populacionais de pragas não afetadas pelas toxinas Bt. Lu et al. (2010) observaram surto populacional de percevejos mirídeos após a introdução do cultivo do algodão Bt na China. Esses autores relacionaram o surto populacional dos percevejos com a redução da aplicação de inseticidas, demonstrando que as pragas podem mudar de status mediante a alterações nas práticas de controle. Nesse contexto, as tabelas de vidas de culturas constituem um instrumento adequado para verificação de possíveis alterações nas densidades de pragas, por possibilitar a identificação dos fatores de perdas e a quantificação das perdas causadas por esses nas lavouras, permitindo relacionar a ocorrência dos fatores de perda com os períodos de maior risco para a cultura (Picanço et al., 2004; Bacci et al., 2006).

As tabelas de vida são utilizadas em estudos de dinâmica populacional de insetos, e pode fornecer informações importantes para adoção de estratégias para programas de manejo integrado de pragas (Silveira Neto et al., 1976). Elas possibilitam a obtenção de dados cumulativos e comparáveis de

mortalidade, sobrevivência e esperança de vida de uma população (Southwood 1978). O primeiro emprego da tabela de vida no estudo de perdas na produção das culturas foi realizado por Harcourt (1970) em repolho. Posteriormente, Chandler (1977), complementou essa metodologia, estudando as perdas no componente de produção do feijoeiro.

Picanço (1992) desenvolveu um modelo de estimativa quantitativa das perdas por unidade de área para cada componente de produção, o que permite a identificação do componente crítico e o fator chave de perdas na cultura. Para tanto, adaptou-se o modelo desenvolvido por Varley & Gradwell (1960), sendo o componente crítico de perdas aquele que possuir maior correlação com as perdas totais ocorridas na cultura e o fator chave de perdas aquele que apresentar maior influência na flutuação das perdas totais no componente crítico de perdas. A tabela de vida tem sido empregada na determinação do componente crítico e do fator chave de perdas em culturas como tomate, pepino, soja, milho, dentre outras (Picanço et al., 2003, Loos et al., 2004; Bacci et al., 2006).

Dessa forma, as tabelas de vida de culturas permitem a identificação e quantificação das causas de perdas diretas na produção, possibilitando a busca de alternativas que possam minimizá-las (Harcourt 1970; Leite et al 1996; Picanço et al 1997; Picanço et al 1998).

Assim, esse trabalho teve por objetivo avaliar e quantificar os componentes críticos e os fatores chave de perdas em lavouras de milho Bt (Cry1Ab) e não-Bt.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. Condições experimentais

Os experimentos foram realizados na microrregião de Viçosa-Minas Gerais, nas safras 2009/10 e 2010/11. As variedades de milhos utilizadas foram os híbridos simples DKB 390 YG (Cry1Ab) e a isolinha DKB 390. Ambas as variedades foram plantadas em sistema de plantio de direto e cultivadas em sequeiro.

Os experimentos foram conduzidos em duas localidades com características distintas em termos de fertilidade de solo e de histórico de uso agrícola. A localidade 1 (altitude: 678,84 m, latitude: 20° 47' 27" e longitude: 42° 47' 49") era uma área de pastagem degradada, o solo era Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura argilosa, com pH ácido e alta saturação por alumínio (Tabela 1), apresentando assim, baixa probabilidade para obtenção de altas produtividade de milho. Antes do plantio dos milhos realizou a roçada da área e aplicação em superfície de 3 toneladas.ha⁻¹ de agrosílico, equivalente a um terço da necessidade de calagem para corrigir a acidez do solo (Ferreira et al., 2008). Após a brotação da vegetação realizou-se a dessecação da área com aplicação de glyphosate + 2,4-D (1800 + 670 g. ha⁻¹) e vinte dias depois fez-se o plantio dos milhos. O espaçamento foi de 0,7m entre linhas e população de 71000 plantas.ha⁻¹.

A localidade 2 (altitude: 648 m, latitude: 20° 45' 14" e longitude: 42° 52' 55" O) apresentava Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa, baixa saturação por alumínio e pH adequado para o cultivo do milho (Tabela 1). Essa área apresenta o histórico de cultivo de culturas anuais e de hortaliças. Solos com essas características são propícios para obtenção de altas produtividades de milho. Vinte dias antes do plantio fez-se a dessecação da área com aplicação de glyphosate + 2,4-D (1,800 +

670 g.ha⁻¹). O espaçamento foi de 0,8m entre linhas e população de 62000 plantas.ha⁻¹.

A adubação utilizada nas duas localidades foi 500 Kg.ha⁻¹ da formula NPK 8-24-12 no plantio e 500 Kg.ha⁻¹ da formula de NPK 30-00-10 em cobertura. As adubações de cobertura foram parcelas em duas aplicações, a primeira ocorreu aos 30 e a segunda aos 45 dias após a emergência das plantas. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com oito repetições, cada parcela experimental possuía em média 200m². Os tratos culturas foram os recomendados para a cultura, porém não realizou-se aplicação de inseticidas para o controle de insetos pragas. Esses procedimentos foram adotados nos dois anos de cultivos.

Tabela 1. Composição química da camada de 0-20 cm dos solos das áreas experimentais da microrregião de Viçosa nas safras 2009/10 e 2010/11.

Localidade 1											
pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m
H ₂ O	mg/dm ³		cmol _c /dm ³							%	
4,4	1,9	14	0,2	0,1	1,8	8,75	0,34	2,14	9,09	4	84
Localidade 2											
pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	V	m
H ₂ O	mg/dm ³		cmol _c /dm ³							%	
5,0	37,8	110	1,5	0,3	0,3	5,61	2,08	2,38	7,69	27	13

*Análises realizadas no laboratório de Análise Química e Físicas de solo do Departamento de Solos da UFV, segundo a metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias-EMBRAPA (1997).

1.2.2. Construção e análise da tabela de vida de cultura

Para a construção das tabelas de vida ecológicas para a cultura do milho seguiu-se a metodologia utilizada por Picanço et al., (2003). O monitoramento das lavouras iniciou-se logo após da emergência das plantas e estendeu até a colheita das espigas. Semanalmente as parcelas eram percorridas para avaliação da mortalidade de plantas, dos fatores causadores da mortalidade e da entomofauna.

Ao final dos cultivos foram coletadas 10 espigas/parcela. Nestas espigas avaliou-se a produtividade real e potencial das lavouras, as perdas de grãos e os

fatores causadores das perdas (Ramos, 1982; Faleiro et al., 1995; Picanço et al., 2003 e 2004).

Foi confeccionada tabela de vida para o milho, conforme metodologia desenvolvida por Picanço (1992). As tabelas eram compostas pelos componentes:

x = componente de produção da cultura do milho (plantas, espigas e grãos).

Lx = produtividade potencial (Kg ha^{-1}) no início de cada x

dxF = fator causador de perdas na produtividade da cultura (Kg ha^{-1}).

dx = estimativa de perdas na produtividade (Kg ha^{-1}).

$100qx$ = percentagem de perdas não acumulativas.

$100rx$ = percentagem de perdas acumulativas.

Para tanto, foi realizada estimativa de produtividade (kg de grãos/ha) de cada componente de produção utilizando as fórmulas:

$$Lx (\text{planta}) = PL \times Ep/PI \times Ov/Ep \times Ps$$

$$Lx (\text{espigas}) = Plc \times Epc/PI \times Ov/Ep \times Ps;$$

$$Lx (\text{óvulos}) = Plc \times Ep/PI \times Ov/Ep \times Ps;$$

$$Lx (\text{grãos}) = Plc \times Ep/PI \times Gr/Ep \times Ps;$$

$$Lx (\text{produtividade de grãos}) = Plc \times Ep/PI \times Grc/Ep \times Os.$$

Onde:

PL = número médio de plantas

ha^{-1} no início da cultura;

Ps = peso médio de um grão (g)

Epc/PI = número médio de espigas/planta na colheita;

Ep/PI = número médio de espigas formadas/planta;

Ov/Ep = número médio de óvulos/espiga;

Os = peso médio de um grão em g;

Plc = número médio de plantas ha^{-1} na colheita;

Gr/Ep = número médio de grãos/espiga;

Grc/Ep = número médio de grãos sadios na colheita/espiga.

Para a determinação dos componentes críticos e dos fatores chaves de perdas, foram realizadas análises de correlação e de regressão linear simples utilizando as perdas parciais (k) ocorridas em cada componente ou causadas por cada fator a perdas totais (K) ocorridas nas lavouras. Os componentes críticos e os fatores chave de perdas foram aqueles cujas perdas parciais atenderam as seguintes exigências; Que na análise de correlações deveria existir correlação positiva e significativa ($p < 0.05$) entre as perdas parciais e perdas totais e que na análise de regressão apresentasse maior coeficiente angular com $p < 0,05$ e maior similaridade (R^2) com a perda total (Picanço et al., 2004). Quando apenas um componente ou fator apresentou correlação positiva e significativa, este seria considerado componente crítico ou fator chave de perda. Os valores de k foram calculados pelo $\text{Log}(100qx)$ e $K = \sum k$.

Para verificar a influencia dos fatores chaves de perdas na produção final das lavouras, foi calculado as perdas indispensáveis (PI) ou insubstituíveis. A perda indispensável representa o ganho na produção da cultura (%) se o fator chave de perda não ocorresse. Para isso, adaptou-se a metodologia utilizada para o cálculo de mortalidade indispensável em tabelas de vida de insetos (Southwood & Henderson, 2000). As perdas indispensáveis foram calculadas através da formula:

$$PI = \left\{ \left[1 - \prod_i^j (1 - 100qx/100) \right] - \left[1 - \prod_i^{j-1} (1 - 100qx/100) \right] \right\} \times 100$$

onde 100qx é a perda não acumulativa para o fator i e j é o número de todos os fatores de perdas. O primeiro produto inclui todos os fatores de perdas, enquanto o segundo inclui todos exceto o fator de interesse.

1.2.3. Relação entre inimigos naturais, elementos climáticos e as perdas provocadas pelos fatores de perdas.

Os dados dos elementos climáticos (umidade relativa do ar, velocidade do vento, fotoperíodo, isolamento, temperatura e precipitação pluviométrica) e de inimigos naturais que ocorreram ao longo do ciclo dos milhos foram coletados para cada data de amostragem em cada uma das localidades. As variáveis que apresentaram correlação significativa com fatores de perdas ($p < 0,05$) foram submetidas à análise de componentes principais (PCA), usando o software Canoco 4.5. O gradiente de

resposta foi representado por vetores com origem no ponto central do diagrama de eixos. O comprimento do vetor é proporcional a importância da variável. Vetores com a mesma direção e orientação representam variáveis com correlação positiva, porém, vetores com a mesma direção e orientação em sentido oposto representam correlação negativa. Variáveis não são correlacionadas quando o ângulo entre os vetores é de 90° .

1.3. RESULTADOS

Não houve diferença entre as produtividades médias dos milhos Bt e não-Bt cultivados na Localidade 1 nos dois anos de cultivo (primeiro ano $F= 2,57$ $p= 0,135$, $gl= 14$, segundo ano $F= 2,85$ $p= 0,114$, $gl= 14$). Já na comparação das produtividades do milho Bt do primeiro ano com a do segundo, observou-se diferença significativa ($F= 15,18$ $p< 0,001$, $gl= 14$), no entanto, o mesmo não ocorreu com o milho não-Bt ($F= 0,75$ $p= 0,40$, $gl= 14$).

No primeiro ano de cultivo a produtividade média do milho transgênico foi de $3587 \pm 218,81$ Kg ha^{-1} e no segundo foi de 4894 ± 248 Kg ha^{-1} . Já a produção do milho não-Bt foi de 4344 ± 417 Kg ha^{-1} no primeiro cultivo e de 3882 ± 736 Kg ha^{-1} no segundo ano (Tabelas 2).

As maiores produtividades do milho Bt e não-Bt ocorreram na Localidade 2, porém, não houve efeito de tratamentos e nem de anos de cultivo. A produtividade do milho Bt foi de 11213 ± 468 Kg ha^{-1} no primeiro ano e de 11184 ± 349 Kg ha^{-1} no segundo ano. A produtividade do milho não-Bt foi de 11319 ± 358 Kg ha^{-1} no primeiro cultivo e de 11295 ± 313 Kg ha^{-1} no segundo (Tabelas 3).

As perdas totais de produtividade ocorridas no milho Bt na Localidade 1 no primeiro foi de 26,79%, no segundo foi de 43,46%, para o milho não-Bt as perdas de produtividade foram de 27,09% e de 55,28% para o primeiro e segundo ano, respectivamente. Na Localidade 2 as perdas totais no primeiro foi de 14,40 para o milho Bt e 14,31% para o não-Bt. No segundo ano de cultivo,

as perdas totais foram de 9,89% para o milho Bt e de 9,96% para o milho não-Bt (Tabelas 2).

As perdas de produtividade na fase vegetativa foram ocasionadas pela mortalidade de plantas provocadas pelas lagartas *Elasmopalpus lignosellus* (Lepidóptera: Pyralidae) e *Spodoptera frugiperda* (Lepidóptera: Noctuidae), cupins (Isoptera), *Gryllus* sp. (Orthoptera: Gryllidae) e por plantas com distúrbios fisiológicos. Na fase reprodutiva as perdas de produtividade foram ocasionadas pela não formação de espigas e pela perda de grãos devido ao ataque insetos, ratos, fungos saprófitas e grãos germinados. As perdas atribuídas a insetos foram ocasionadas pela *Euxesta* spp. (Díptera: Otitidae), *Helicoverpa zea* (Lepidóptera: Noctuidae), *S. frugiperda*, *Tribolium* sp. (Coleoptera: Tenebrionidae), *Cathartus quadricollis* (Coleoptera: Silvanidae), *Sitophilus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) e coleópteros pertencentes à família Nitidulidae (Tabelas 2 e 3).

Em todas as tabelas de vida, a flutuação das perdas totais ocorridas no milho Bt e não-Bt nas duas localidades e nos dois anos de cultivo, foram significativamente ($p < 0,05$) correlacionadas com as perdas ocorridas em grãos. As perdas ocasionadas pela mortalidade de plantas e a não formação de espigas influenciaram em menor grau as perdas totais ($p > 0,05$) (Tabela 4). Portanto, o componente crítico de perdas em todas as tabelas de vida foram às perdas de grãos.

As perdas provocadas pela *H. zea* e grãos defeituosos correlacionaram significativamente ($p < 0,001$) com as perdas totais ocorridas no milho Bt no primeiro ano de cultivo na Localidade 1. As regressões lineares entre as perdas parciais por *H. zea* e grãos defeituosos com as perdas totais foram significativas ($p < 0,001$), porém, as perdas por grãos defeituosos apresentou coeficiente angular (0,635) maior que da *H. zea* (0,278) (Figura 1A). Já para o milho não-Bt, as perdas por grãos defeituosos foi o único fator que correlacionou significativamente ($p = 0,023$) com as perdas totais (Tabela 5). No segundo ano de cultivo, a *H. zea* foi o único fator de perdas que correlacionou significativamente ($p < 0,001$) com as perdas totais ocorridas no milho Bt. Já no milho convencional, os principais fatores de perdas foram a *H. zea* e pela *S. frugiperda* ($p < 0,001$ e $p = 0,003$), entretanto, na comparação entre as

regressões lineares o coeficiente angular da curva das perdas causada pela *H. zea* ($b=0,647$) foi significativamente maior do que o da curva de perdas causada pela *S. frugiperda* ($b=0,177$) (Figura 1B). Portanto, a *H. zea* foi o fator chave de perda para o Bt e não-Bt no segundo ano de cultivo em Cajuri.

A mosca da espiga *Euxesta* spp., foi o fator chave de perdas no milho Bt e milho não-Bt no primeiro ano de cultivo na Localidade 2 (Tabela 5). No segundo ano de cultivo, grãos defeituosos foi o fator chave de perdas para o milho Bt. Já para o milho não-Bt, os fatores que contribuíram para as perdas de grãos foram grãos defeituosos e grãos atacados pela *Euxesta* spp.. No entanto, o coeficiente angular da curva de regressão de grãos defeituosos ($b=0,53$) foi significativamente maior do que o da curva de perdas causada pela *Euxesta* spp. ($b=0,16$) (Figura 1C).

Caso as perdas de grãos ocasionadas pelos fatores chaves fossem eliminadas e não houvesse a compensação por outro fator, a produção do milho Bt e não-Bt cultivados na Localidade 1 no primeiro ano de cultivo aumentaria 10,71% e 5,50%, respectivamente. No segundo ano de cultivo haveria um aumento de produção de 14,53% do milho Bt e de 27,43% no milho não-Bt (Figura 2). De forma semelhante, se na Localidade 2 fosse eliminado as perdas causadas por os fatores chaves dos dois anos de cultivo, haveria um aumento de produtividade de 5,38% do milho Bt no primeiro ano e 6,54% no segundo ano, já para o milho não-Bt haveria um aumento de 7,65% e 5,12% no primeiro e segundo ano de cultivo, respectivamente (Figura 2).

Na análise de componentes principais (PCA) utilizando as perdas provocadas por *H. zea*, *S. frugiperda*, *Euxesta* spp. e grãos defeituosos com os componentes tesourinhas, outros predadores, parasitóides, pulgão, temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação pluviométrica (mm dia^{-1}), gerou quatro eixos que explicaram 63% da variância observada. O diagrama do PCA separou os fatores de perdas em dois grupos (*Euxesta* spp. + grãos defeituosos e *H. zea* + *S. frugiperda*). As perdas causadas pela *H. zea* + *S. frugiperda* correlacionaram negativamente com as tesourinhas, outros predadores e a precipitação pluviométrica. A *Euxesta* spp. negativamente com a temperatura do ar e positivamente com a precipitação pluviométrica. Grãos

defeituosos apresentou baixa correlação, com pulgões, precipitação pluviométrica, tesourinhas e com a temperatura do ar (Figura 3).

O número médio de tesourinhas por planta de milho na fase reprodutiva nos dois anos de cultivo na Localidade 1 variou de 0,06 a 0,23. O número de tesourinhas no milho não-Bt foi numericamente maior do que do no milho Bt, porém a diferença não foi significativa ($F= 0,702$, $p= 0,418$ e $F= 2,21$ $p= 0,159$ e $gl= 14$) (Figura 4). Na Localidade 2, o número médio de tesourinha por planta nos dois anos de cultivo variou de 1,37 a 1,76, porém não houve diferença estatística ($F= 2,91$, $p= 0,109$ e $gl= 14$) entre o numero de tesourinhas nos tratamento no primeiro ano de cultivo, no entanto, no segundo de cultivo, o número de tesourinhas por plantas de milho Bt foi significativamente ($F=6.30$, $p=0,027$ e $p= 14$) maior do que do milho não-Bt (Figura 4).

Tabela 2. Produtividades e perdas (média ± erro padrão) nos componentes de produção (plantas, espigas e grãos) das culturas de milho Bt Cry 1Ab e não-Bt durante duas safras na Localidade 1, MG.

Componentes de produção	Milho Bt Cry 1Ab				Milho não-Bt			
	Safra 2009/10		Safra 2010/11		Safra 2009/10		Safra 2010/11	
	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)	Perdas (Kg.ha ⁻¹)	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)	Perdas (Kg.ha ⁻¹)	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)	Perdas (Kg.ha ⁻¹)	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)	Perdas (Kg.ha ⁻¹)
Plantas	4845,5±250,0	0,00±0,00	8344,31±649,4	35,21±15,9	5907,48±367,2	0,00±0,00	8126,18±941,2	73,48±20,82
Fatores de perdas	<i>E. lignosellus</i>	0,00±0,00		1,68±1,68		0,00±0,00		11,89±5,4
	<i>S. frugiperda</i>	0,00±0,00		1,68±1,68		0,00±0,00		17,21±5,05
	Cupins	0,00±0,00		6,71±5,07		0,00±0,00		29,57±16,02
	<i>Gryllus spp.</i>	0,00±0,00		5,05±3,55		0,00±0,00		14,81±7,98
	Percevejos	0,00±0,00		20,1±14,67		0,00±0,00		0,00±0,00
							
Espigas	4845,5±270,1	176,06±16,29	8309,11±653,4	428,21±55,47	5907,48±396,6	150,95±15,08	8052,7±938,6	424,88±51,58
.....								
Grãos formados	4669,44±265,4	1081,49±311,4	7880,89±635,2	2985,92±634,1	5756,53±394,6	1412,22±74,66	7627,82±941,6	3745,43±377,6
Fatores de perdas	<i>Euxesta sp.</i>			0,00±0,00		41,14±20,78		0,00±0,00
	<i>H. zea</i>			1715,46±506,1		806,17±117,5		2817,98±962,0
	Má formação			900,92±219,6		373,72±103,9		213,47±128,3
	Germinação			70,11±40,38		0,00±0,00		18,15±4,35
	Fungos			16,84±16,53		2,4±1,89		146,4±53,4
	<i>S. frugiperda</i>			175,19±70,93		41,16±39,22		326,71±64,72
	Nitidulidae			0,84±0,84		0,00±0,00		0,00±0,00
	<i>C. quadricolis</i>			57,9±16,91		37,77±20,09		96,87±21,91
	Ratos			0,00±0,00		0,00±0,00		15,71±14,07
	<i>S. zeamais</i>			48,66±44,87		109,87±81,64		110,14±89,67
.....								
Grãos colhidos	3587,95±218,8		4894,97±248,2		4344,31±417,7		3882,39±736,6	
Total de perdas		1257,55 ± 315,38		3449,34 ± 632,81		1563,17 ± 80,76		4243,79 ± 387,56

Na tabela Lx= a produção, dx= perdas por um fator, 100qx= perda (%), 100rx= perda acumulativa (%).

Tabela 3. Produtividades e perdas (média ± erro padrão) nos componentes de produção (plantas, espigas e grãos) das culturas de milho Bt Cry 1Ab e não-Bt durante duas safras na Localidade 2.

Componentes de produção	Milho Bt Cry 1Ab				Milho não-Bt			
	Safr a 2009/10		Safr a 2010/11		Safr a 2009/10		Safr a 2010/11	
	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)	Perdas (Kg.ha ⁻¹)	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)	Perdas (Kg.ha ⁻¹)	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)	Perdas (Kg.ha ⁻¹)	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)	Perdas (Kg.ha ⁻¹)
Plantas	13083,94±586,3	90,9±11,64	12403,63±278,2	14,07±14,07	13197,27±285,7	68,57±10,76	12537,04±172,4	16,79±8,87
Fatores de perdas	<i>E. lignosellus</i>	3,69±2,68		0,00±0,00		4,97±2,64		12,47±5,89
	Percevejos	87,21±11,47		14,07±14,07		63,59±9,07		4,31±4,31
.....
Espigas	12993,04±581,7	16,11±4,26	12389,57±299,5	75,67±26,38	13128,7±292,4	13,62±4,65	12520,25±184,8	73,88±14,02
.....
Grãos formados	12976,93±582,6	1763,9±258,0	12313,89±291,8	1129,72±158,0	13115,08±294,3	1795,47±240,6	12446,38±184,2	1150,59±221,6
Fatores de perdas	<i>Euxesta</i> sp.	780,85±211,4		78,11±78,11		1070,31±244,9		169,12±64,72
	<i>H. zea</i>	15,09±15,09		17,07±17,07		0,00±0,00		39,34±39,34
	Má formação	835,32±18,7		847,58±76,67		653,0±8,05		671,88±96,69
	Germinação	67,92±34,95		82,39±48,53		25,50±16,73		17,00±15,57
	Fungos	3,00±1,97		7,10±5,38		1,50±1,50		32,54±27,10
	<i>S. frugiperda</i>	0,00±0,00		5,39±5,39		0,00±0,00		61,43±41,42
	<i>Tribolium</i> spp.	0,00±0,00		3,70±3,70		0,00±0,00		0,00±0,00
	<i>C. quadricolis</i>	34,71±22,72		0,00±0,00		0,00±0,00		1,97±1,97
	Ratos	0,00±0,00		0,00±0,00		7,52±7,52		0,00±0,00
	<i>S. zeamais</i>	27,02±13,28		88,38±59,49		37,64±9,13		157,31±94,18
.....
Grãos colhidos	11213,03±468,7		11184,17±349,2		11319,62±358,7		11295,79±313,8	
Total de perdas		1870,91 ± 262,44		1219,45 ± 146,24		1877,65 ±		1241,25 ± 205,75

Na tabela acima Lx= a produção, dx= perdas por um fator, 100qx= perda (%), 100rx= perda acumulativa (%).

Tabela 4. Determinação do componente crítico de perdas na produção milho Bt Cry1Ab e do milho não-Bt usando correlação de Pearson das perdas parciais com as perdas totais nos componentes de produção da cultura em duas localidades nas safras 2009/10 e 2010/11-Minas Gerais.

Componente de produção	Localidade 1				Localidade 2			
	Safra 2009/10		Safra 2010/11		Safra 2009/10		Safra 2010/11	
	r	p	r	p	r	p	r	p
----- Milho Bt								
Plantas	-	-	-0,41	0,313	0,36	0,380	-0,28	0,537
Espigas	-0,12	0,800	-0,47	0,238	-0,20	0,634	0,18	0,704
Grãos	1.00*	<0,001	1.00*	<0,001	1.00	0,001*	0,99*	<0,001
----- Milho não-Bt								
Plantas	-	-	0,57	0,142	0,64	0,085	-0,23	0,619
Espigas	0,61	0,143	0,62	0,105	0,20	0,638	0,02	0,968
Grãos	1.00*	<0,001	1.00*	<0,001	1.00*	<0,001	1.00*	<0,001

* Correlação significativa pelo teste t a $p < 0,05$. Localidade 1= local com solos com baixa fertilidade. Localidade 2= local com solos com alta fertilidade.

Tabela 5. Correlação de Pearson entre os fatores de perdas parciais com as perdas totais de grãos ocorridas em milho Bt e não-Bt em duas localidades, no período de 2009 a 2011.

Fatores de perdas	Localidade 1 2009/10		Localidade 1 2010/11		Localidade 2 2009/10		Localidade 2 2010/11		
	r	p	r	p	r	p	r	p	
Milho Bt	<i>Euxesta</i> spp	-0,01	0,983	-	-	0,99*	<0,001	0,09	0,985
	<i>Helicoverpa zea</i>	0,98*	<0,001	0,94*	<0,001	0,52	0,183	-0,15	0,752
	Grãos defeituosos	0,99*	<0,001	0,08	0,858	0,43	0,293	0,83*	0,020
	Grãos germinados	-	-	-0,37	0,364	0,15	0,726	0,67	0,098
	Fungos	0,49	0,264	-0,09	0,836	0,24	0,569	-0,02	0,975
	<i>Spodoptera frugiperda</i>	-	-	0,62	0,100	-	-	-0,15	0,743
	<i>Tribolium</i>	-	-	-	-	-	-	-0,15	0,752
	Nitidulidae	-	-	0,12	0,784	-	-	-	-
	<i>Cathartus quadricolis</i>	0,67	0,102	0,13	0,756	0,42	0,301	-	-
	Rato	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Sitophilus</i> spp.	0,23	0,622	0,61	0,106	0,27	0,515	0,14	0,765
Milho não-Bt	<i>Euxesta</i> spp	0,73	0,065	-	-	0,99*	<0,001	0,86*	0,014
	<i>Helicoverpa zea</i>	0,18	0,708	0,97*	<0,001*	-	-	-0,15	0,750
	Grãos defeituosos	0,83*	0,023	-0,33	0,425	0,52	0,186	0,83*	0,021
	Grãos germinados	-	-	0,59	0,125	0,22	0,606	0,39	0,385
	Fungos	-0,02	0,971	0,11	0,805	-0,46	0,256	0,57	0,187
	<i>Spodoptera frugiperda</i>	-0,32	0,487	0,89*	0,003	-	-	0,50	0,259
	<i>Tribolium</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nitidulidae	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Cathartus quadricolis</i>	0,59	0,164	0,08	0,853	-	-	0,43	0,335
	Rato	-	-	0,52	0,564	0,09	0,841	-	-
	<i>Sitophilus</i> spp.	0,10	0,838	0,09	0,840	0,21	0,176	0,55	0,203

*significante $p < 0,05$. Local 1= local com solos com baixa fertilidade. Local 2= local com solos com alta fertilidade

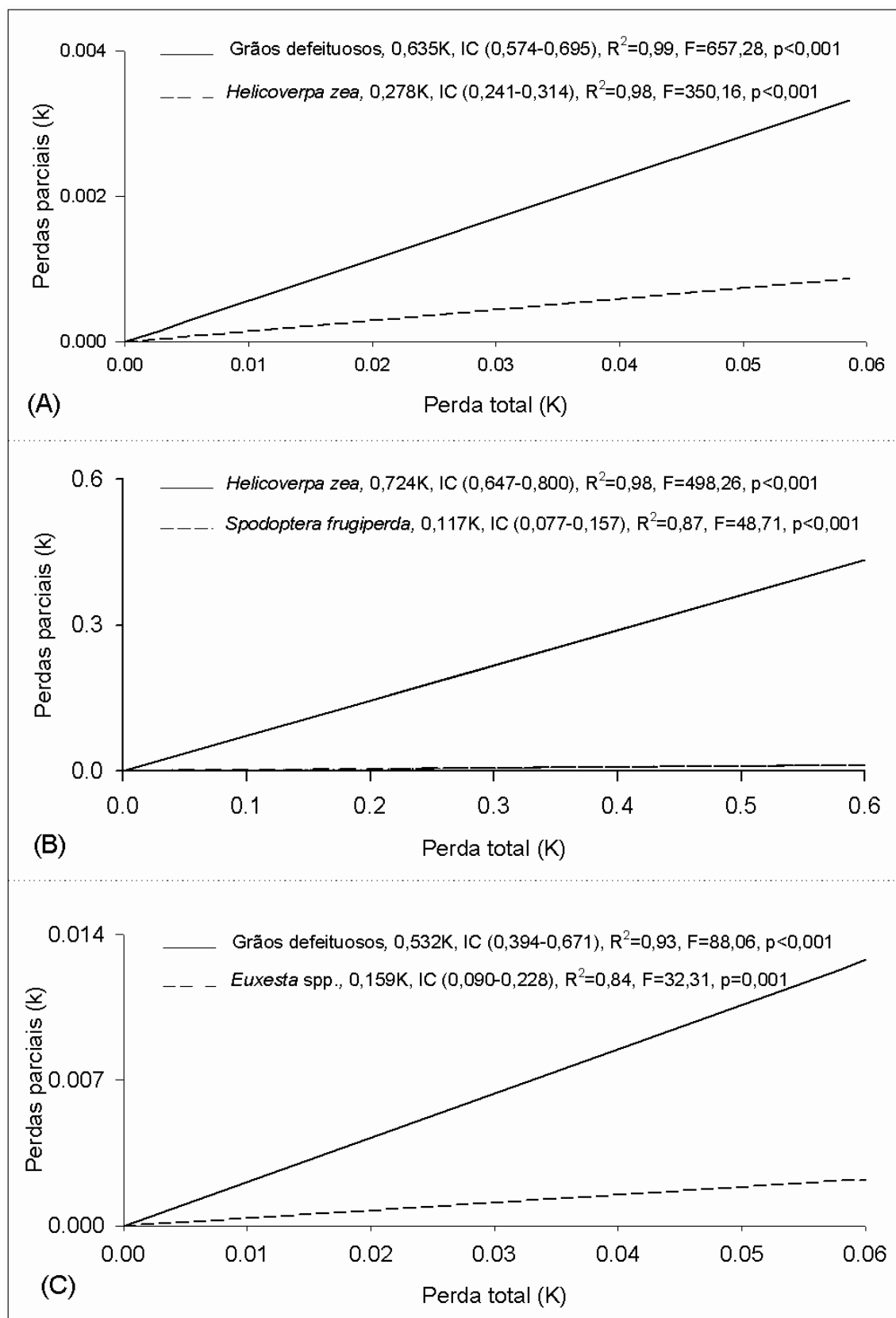


Figura 1. Análise de regressão das perdas parciais com as perdas totais de grãos: (A) milho Bt Cry1Ab, Localidade 1 – safra 2009/2010; (B) milho não-Bt, Localidade 1 – safra 2010/2011; (C) milho não-Bt, Localidade 2 – safra 2010/2011. IC= intervalo de confiança, K= coeficiente angular.

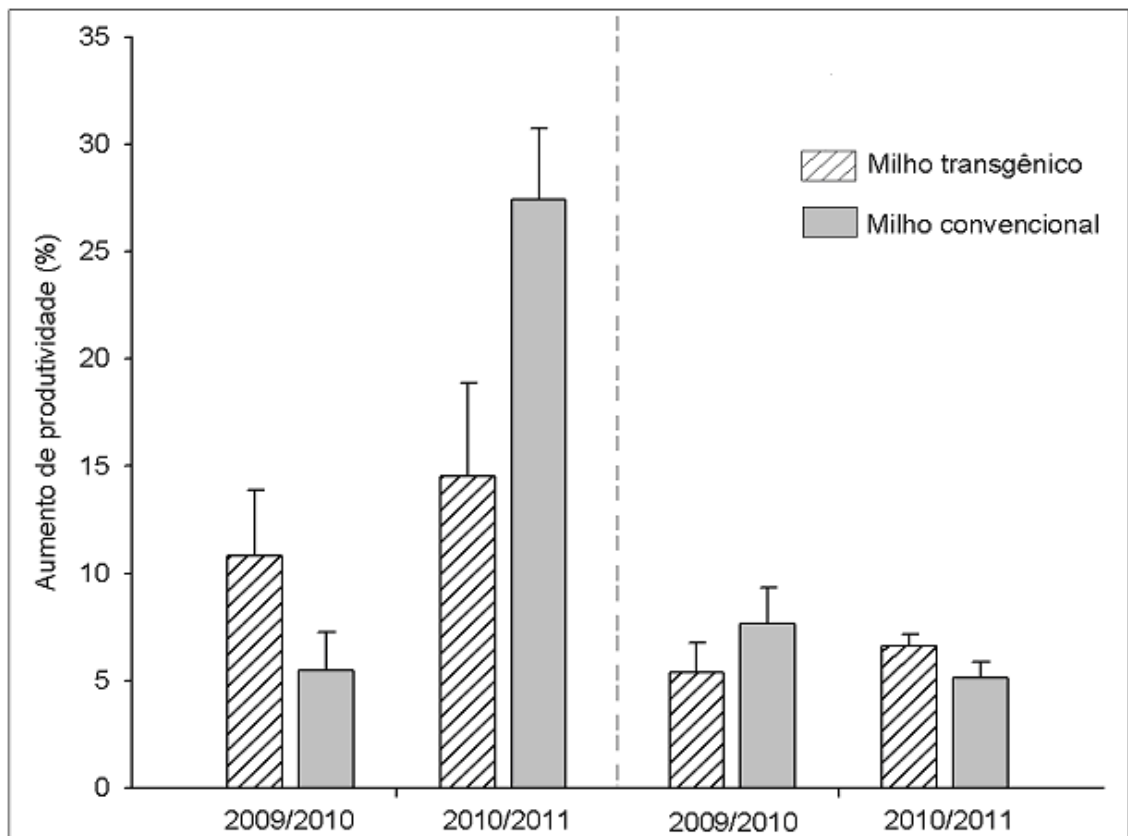


Figura 2. Produtividade do milho transgênico e convencional na Local 1 e no Local 2 sem a atuação dos fatores-chaves de perdas. Na Localidade 1: grãos-defeituosos 2009/2010 e *H. zea* 2010/2011. Na Localidade 2: *Euxesta* spp. 2009/2010 e grãos-defeituosos 2010/2011.

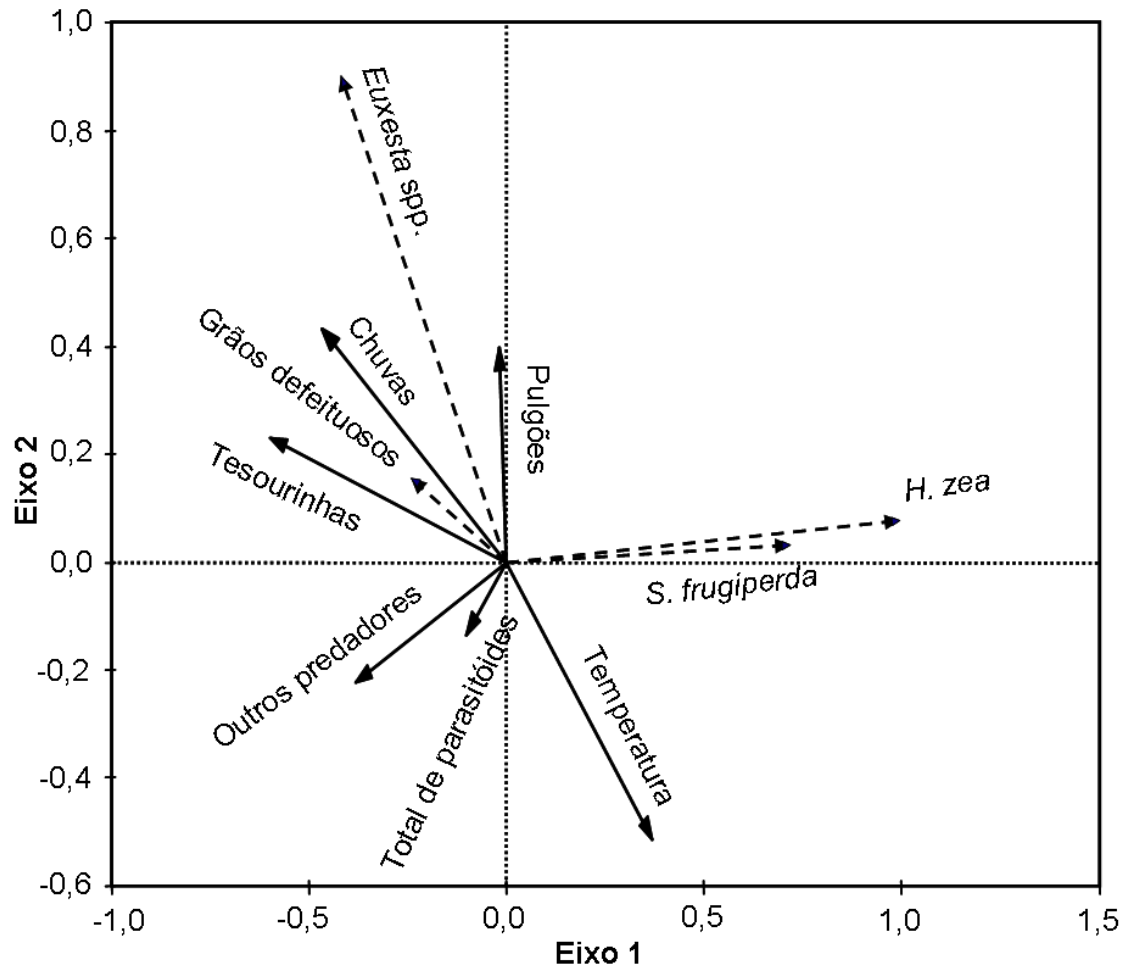


Figura 3. Diagrama de ordenação da análise de componentes principais (PCA) do efeito da temperatura (°C), precipitação (mm/dia), parasitoides total, outros predadores, tesourinhas e pulgões nas perdas provocadas pela *H. zea*, *S. frugiperda*, *Euxesta* spp. e por grãos defeituosos. O comprimento do vetor é proporcional a importância da variável. Variáveis com correlação positiva apresentam vetores com mesma direção e orientação. Variáveis com correlação negativa apresentam vetores com mesma direção e orientação oposta. Quando o ângulo entre os vetores for de 90°, as variáveis não são correlacionadas.

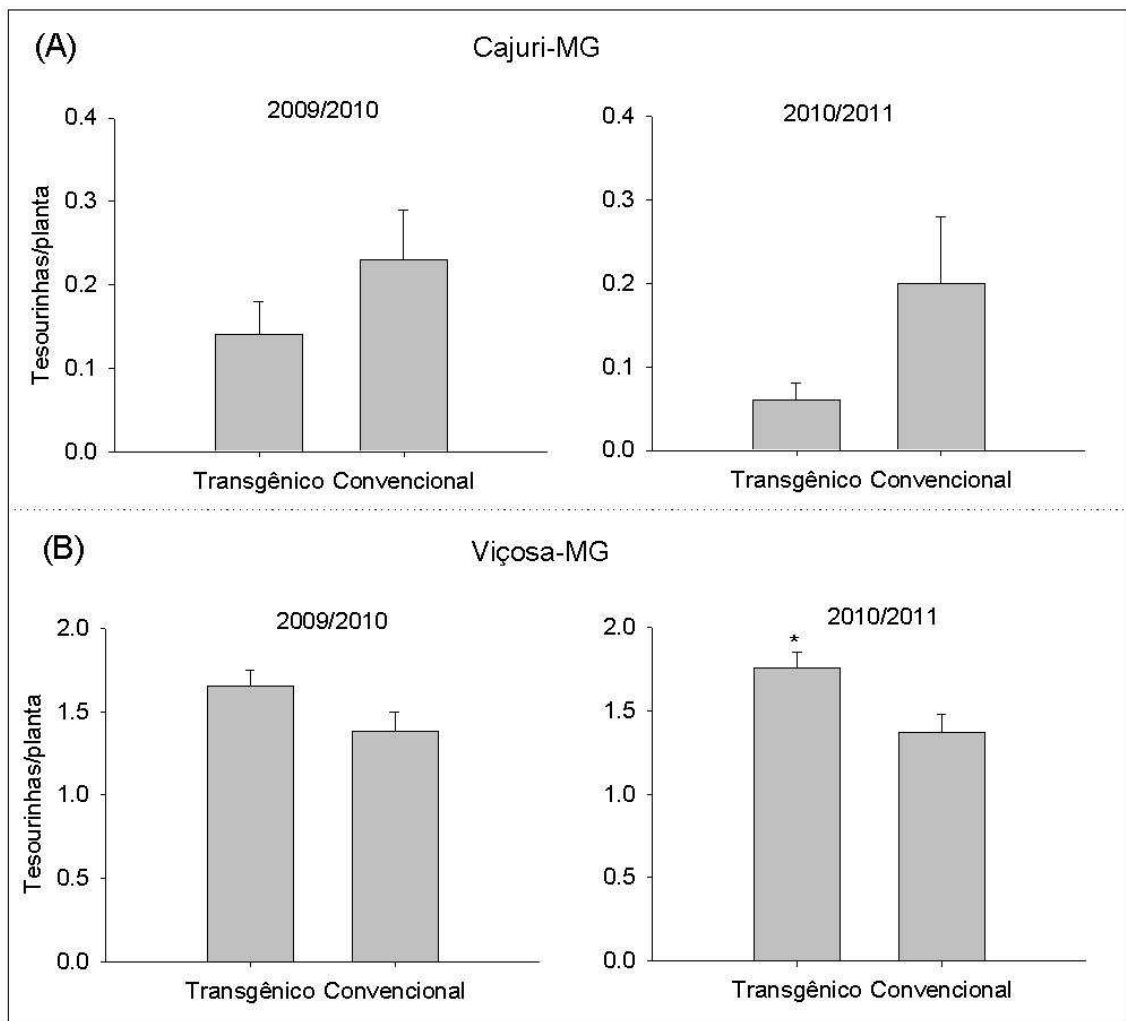


Figura 4. Tesourinhas (média \pm erro padrão) por planta de milho transgênico e convencional na fase reprodutiva nas safras 2009/10 e 2010/11. (A) corresponde a Localidade 1; (B) corresponde a Localidade 2.

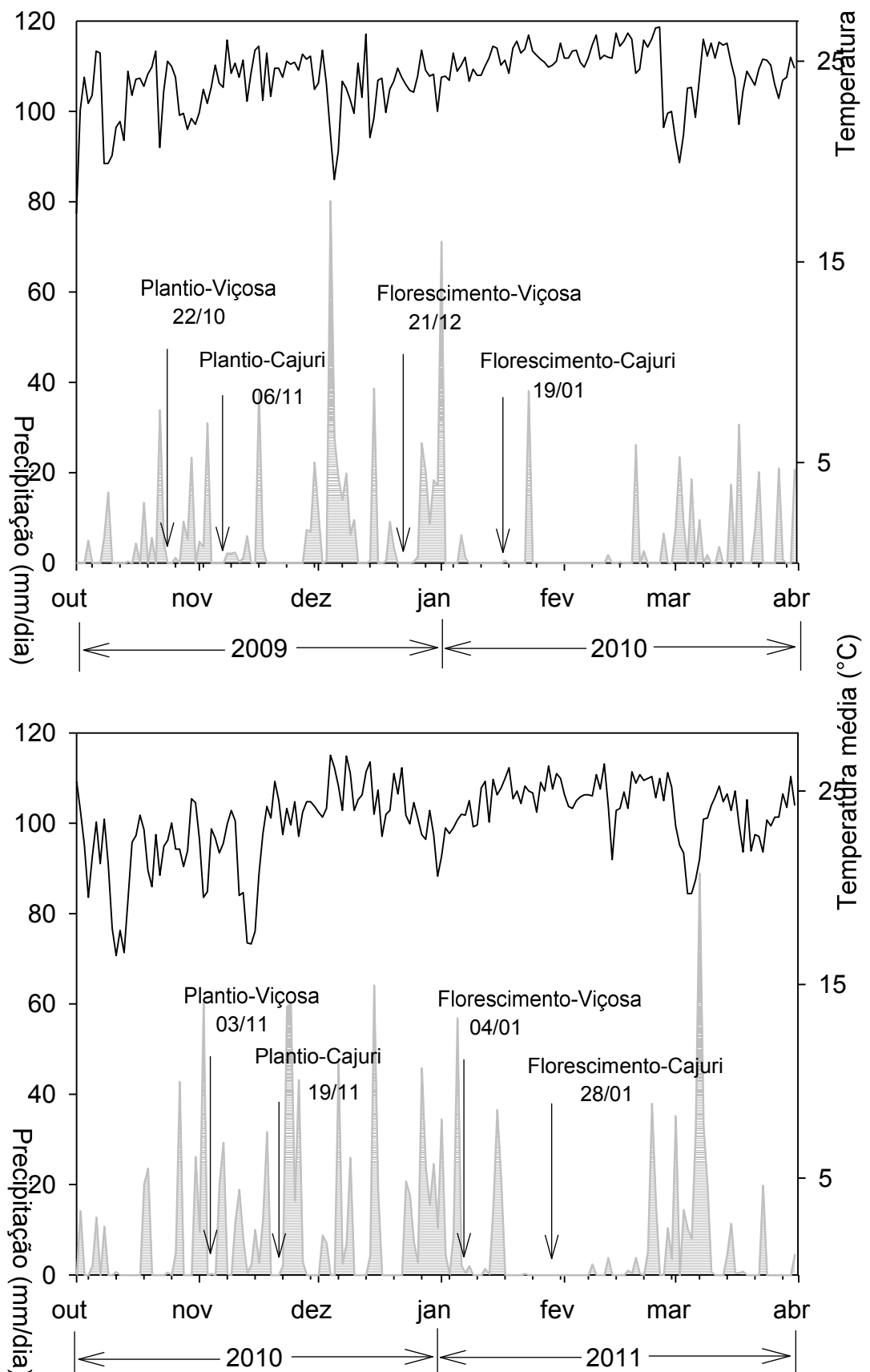


Figura 5. Variação sazonal dos elementos climáticos (precipitação e temperatura) na microrregião de Viçosa nos meses de outubro a abril nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

1.4. DISCUSSÃO

As produtividades médias dos milhos Bt e não-Bt cultivados na Localidade 1 variaram de um ano para o outro. No primeiro ano de cultivo o milho convencional foi mais produtivo (4344 Kg.ha^{-1}) que o transgênico (3588 Kg ha^{-1}), ficando acima da média nacional (3906 Kg.ha^{-1}). Já no segundo ano, o milho Bt (4895 Kg ha^{-1}) foi mais produtivo que o não-Bt (3882 Kg ha^{-1}), ficando também acima da média nacional (4538 Kg.ha^{-1}) (Conab, 2010 e 2011). Essa variabilidade de respostas foi ocasionada pela atuação de fatores de perdas bióticos e abióticos nos componentes de produção do milho, no qual reduziram em 26,69% e 43,46% as produtividades potenciais do milho Bt e em 27,09% e 55,28% do não-Bt, nos dois anos de cultivo (Tabela 2). De forma semelhante, Faleiro et al. (1995), Picanço et al. (2003) e Picanço et al. (2004) observaram altos índices de perdas em milho cultivados em ambiente com baixo emprego de tecnologia.

Os milhos cultivados na Localidade 2 responderam de forma diferente dos cultivados na Localidade 1. Nos dois anos de cultivo, a média de produção do milho Bt (11213 Kg.ha^{-1} e 11184 Kg.ha^{-1}) e não-Bt (11319 Kg.ha^{-1} e 11295 Kg.ha^{-1}) foram maiores que média nacional das safras 2009/2010 e 2010/2011. A produtividade dos milhos Bt e não-Bt nos dois anos de cultivo foram parecidas, sendo que a diferença entre o tratamento de maior e menor produtividade foi de 135 Kg ha^{-1} (Tabela 3). As reduções na produtividade potenciais do milho Bt (14,4% e 9,89%) e não-Bt (14,31% e 9,96%) cultivados em na Localidade 2 foram menores que a dos milhos cultivados na Localidade

1. Os baixos índices de perdas ocorridos na Localidade 2 podem estar relacionados às melhores condições do solo (Tabela 1), ao menor ataque de pragas (Tabela 3) e às épocas de semeadura dos milhos (Figura 5). Os milhos cultivados na Localidade 2 foram semeados 15 (primeiro cultivo) e 16 (segundo cultivo) dias antes dos milhos cultivados na Localidade 1. Assim, os milhos cultivados na Localidade 1 foram menos afetados pelos veranicos que ocorreram nos dois anos de cultivo (Figura 5).

Plantas de milhos submetidas a condições de déficit hídrico e nutricional e ao ataque de pragas durante o período de formação e enchimento de grãos, podem apresentar grãos com baixo peso, e, conseqüentemente menor produtividade (Matzenauer et al., 2001; Sangoi, 2001; Picanço et al., 2003, 2004; Nik et al., 2011).

O potencial produtivo do milho Bt e não-Bt (4845 Kg.ha^{-1} e 5907 Kg.ha^{-1}) no primeiro cultivo na Localidade 1 foram menores do que o do segundo (8126 Kg ha^{-1} e 8344 Kg.ha^{-1}). A diferença de potencial reprodutivo entre os dois anos de cultivos pode estar relacionada à melhoria da fertilidade do solo (efeito residual do ano anterior) e à maior disponibilidade de água durante o período de definição do potencial produtivo das espigas e também ao efeito da correção do solo e adubação realizada na implementação do experimento nessa safra. O potencial produtivo das plantas de milho ocorre durante o estágio V10 a V17, é o período que ocorre a definição do número de fileiras e do número de grãos/fileira nas espigas. O estresse hídrico ou nutricional nesse período pode reduzir significativamente o número potencial de grãos, assim como o tamanho das espigas (Fancelli & Neto, 2000). A precipitação na safra 2010/2011 foi mais regular do que da safra anterior (Figura 5), possibilitando o fornecimento de água em um dos momentos mais críticos das plantas de milho.

Na Localidade 2, o potencial reprodutivo do milho Bt nos dois anos de cultivo foi semelhante ao do milho não-Bt, demonstrando que em locais de boa fertilidade o milho Bt pode ser igual ou até mais produtivo que o milho não-Bt.

A perda de grãos foi o componente crítico de perdas para o milho Bt e não-Bt nas duas localidades nos dois anos de cultivos. Tal fato pode estar relacionado com a composição química dos grãos (71,0% de amido, 10,3% de

proteínas, 4,8% lipídios e 2,0% de açúcares), que os tornam um alimento de ótima qualidade, sendo passíveis de serem atacados por diversos insetos (Rhoades, 1979; Fritz & Simms, 1992). Além disso, o estresse hídrico e nutricional e a própria competição entre os grãos, podem comprometer a formação, o acúmulo de matéria seca e o número de grãos por espiga de milho (Sangoi, 2001; Hamidi et al., 2010; Rahmati, 2012), resultando em grãos chochos e de baixo peso, impactando assim a produtividade potencial da cultura.

O fator chave de perdas dos milhos cultivados no primeiro ano de cultivo na Localidade 1 e no segundo ano na Localidade 2, foram os grãos defeituosos. Os grãos classificados como defeituosos apresentavam um dos aspectos; formato irregular, baixo peso, chochos ou enrugados. A ocorrência de grãos com um dos aspectos anteriores, deve-se a ocorrência de déficit hídrico e nutricional durante o período de enchimento dos grãos e a competição entre os grãos por fotoassimilados (Santos & Carlesso, 1998; Bergamaschi et al., 2004 e 2006). Na Localidade 2, o déficit hídrico deve ter sido responsável por tais perdas nos grãos, dado a alta fertilidade do solo (Tabela 1).

As plantas de milho são relativamente tolerantes ao estresse hídrico, porém pode ter o rendimento de grãos reduzido se o déficit hídrico ocorrer na fase de florescimento e enchimento de grãos (Kasele et al., 1994). O período entre a formação e a maturidade fisiológica dos grãos é o momento em que as plantas de milho mais demandam fotoassimilados. Sob déficit hídrico as plantas de milho reduzem a atividade fotossintética devido a redução na assimilação de CO₂, em situações extremas de déficit hídrico pode ocorrer a senescência de folhas, em consequência da retranslocação de nutrientes de folhas velhas para a espiga (Wright et al., 1983). Com a redução da área foliar as plantas não conseguem atender a demanda por assimilados, onde, elas passam alocar reservas das folhas e colmos para suprir o desenvolvimento dos grãos. O desenvolvimento dos grãos de milho é altamente dependente de um contínuo suprimento de fotoassimilados para a espiga. A interrupção desse fluxo aumenta a competição entre grãos por recursos, levando a formação de grãos com aspectos anormais (Sangoi, 2001; Santos & Carlesso, 1998; Bergamaschi et al., 2006).

Euxesta spp. foi o fator chave de perdas para os milhos cultivados no primeiro ano na Localidade 2. *Euxesta* spp. realiza a oviposição sobre os estilo-estigma das espigas, onde ocorre a eclosão das larvas iniciam-se em dois a três dias após a postura. Após a eclosão as larvas migram para o ápice das espigas, onde permanecerão se alimentando dos grãos até o final do seu período larval. No Brasil, esse inseto é considerada praga secundária, porém nos cultivos de milho doce ela chega a ter status de praga chave, podendo causar perdas de até 95% (Seal et al., 1996; Cruz, 2004). A *Euxesta* spp. prefere ovipositar em locais mais úmidos e de temperaturas amenas nas lavouras de milho (Frias, 1981; Albuquerque et al., 2002). Segundo Brunel & Rull (2010), espécies de *Euxesta* reduzem a sua atividade de forrageamento e acasalamento em temperaturas abaixo de 10 e acima de 30°C. Essa idéia corrobora com os resultados do PCA, onde as perdas causadas pela *Euxesta* spp. foram influenciadas pelas chuvas e pela temperatura que correram durante o período reprodutivo dos milhos cultivados nas duas localidades (Figura 2). Os maiores índices de chuva ocorridas no Local 2 durante o período de emissão e desenvolvimento das espigas pode ter criado um micro-clima favorável a essa praga (Figura 3 e 5).

Ao comparar as perdas de grãos entre o milho Bt e o não-Bt (Tabela 2, 3 e 5), percebe-se que o milho Bt foi menos atacado por *Euxesta* spp. do que o não-Bt. Fato semelhante foi observado por Daly & Buntin (2005) ao verificarem a ocorrência de insetos não alvos no milho MON810 (Cry1Ab). Daly & Buntin (2005) relataram também que os danos causados por *E. eluta* e *E. stigmatis* correlacionam com o ataque de *H. zea* à espiga. Contrariamente, Frias (1981) observou que a *Euxesta annonae* preferiu ovipositar em espigas que não havia sido atacadas por *H. zea*, fato semelhante parece ter ocorrido nesse trabalho, demonstrando que a espécie de *Euxesta* predominante na região de condução dos experimentos evitam ovipositarem em espigas atacadas por *H. zea*.

A *H. zea* foi o fator chave de perdas de grãos para os milhos cultivados no segundo ano na Localidade 1. As perdas podem iniciar pelo consumo dos estilos-estigmas e dos grãos do ápice das espigas. O ataque dessa praga também favorece a infestação de outros insetos e a colonização da espiga por fungos saprofitas (Cruz, 2004). As perdas no milho não-Bt nas duas safras

(1715,46 e 2817,98 Kg/ha) cultivados na Localidade 1 foram 5,10 e 2,49 vezes maiores do que milho Bt (336,09 e 806,17 Kg/ha). Demonstra que o plantio milho transgênico pode reduzir as perdas ocasionadas pela *H. zea*, corroborando com Storer et al. (2001), Horner et al. (2003), Daly & Buntin (2005) e Ali et al. (2006), esses autores também observaram maiores danos de *H. zea* a espiga de milho não-Bt. As perdas ocorridas no milho Bt podem estar relacionadas à variabilidade de expressão de toxinas entre e dentro das estruturas das plantas de milho, a variedade de milho Bt utilizada nessa pesquisa expressa de 5,2 a 10,6 µg de toxina Cry1Ab/g de folha seca e de 0,4 a 0,7 µg de toxina Cry1Ab/g de grão seco (CTNBio, 2007). Estima-se ainda, que 25% dos grãos presentes numa espiga de milho Bt não expressam a toxina. A heterogeneidade de distribuição e expressão da toxina entre as estruturas das plantas de milho Bt podem ter proporcionado à *H. zea* uma oportunidade para o desenvolvimento de respostas comportamentais para selecionar grãos que não expressam a toxina (Horner et al., 2003).

O número médio de tesourinhas (Dermaptera: Forficulidae) que ocorreram na Localidade 1 ao longo dos dois anos de cultivo, foi menor que o observado na Localidade 2 (Figura 4). Essa diferença pode estar relacionada ao fato das tesourinhas apresentarem características de organismo estrategistas K (que apresentam ciclo de vida longo (217 dias), baixa taxa reprodutiva (16 ovos/fêmea), cuidados parental e baixa capacidade de dispersão). Organismos com essas características necessitam de um ambiente mais equilibrado para se estabelecerem (Cruz et al., 1995; Guerreiro et al., 2005; Weems & Skelle, 2007). O tempo de duração de uma lavoura de milho é de 4 a 5 meses, esse tempo pode ser insuficiente para o estabelecimento das tesourinhas, essa situação tende ser mais grave em lavouras de milho Bt devido a menor disponibilidade de presas (Guy et al., 2004). A área de cultivo da Localidade 1, caracterizava-se por ser uma área de pastagem degradada. Já, o milho cultivado na Localidade 2 foi estabelecido em uma área com histórico de cultivo sucessivo de milho, soja, trigo, algodão e hortaliças. A diferença populacional de tesourinhas entre os dois locais pode estar relacionado ao histórico de uso agrícola dessas áreas de cultivos.

O número significativamente maior de tesourinhas em plantas de milho Bt (Figura 4, Viçosa 2010/2011), demonstra que esse milho não oferece risco de intoxicação às tesourinhas e que ele é compatível ao milho convencional não-Bt em termos de segurança a esse predador (Fernandes et al., 2007). Da mesma forma, Daly & Buntin (2005) não observaram efeitos adversos de milho Bt sobre as populações dos predadores *Orius insidiosus*, *Geocoris* spp., *Hippodamia convergens*, *Coccinella septempuncta* e de *Scymnus* sp.

A forte correlação negativa entre as perdas de grãos ocasionadas por *H. zea* e por *S. frugiperda* com as tesourinhas nas plantas de milho, demonstra a importância desse predador em reduzir as perdas causadas por pragas a cultura do milho. Durante o ciclo de vida, uma tesourinha pode consumir 8276 ovos de *H. zea* (39 ovos/dia) e 2814 larvas de *S. frugiperda* com uma média de 12 larvas/dia durante a fase ninfal e 21 larvas/dia durante a fase adulta (Reis et al., 1988; Cruz et al., 1995). Segundo Cruz (1991), a presença de duas tesourinhas por planta de milho em fase vegetativa é o suficiente para manter a população de *S. frugiperda* sob controle. Tal fato parece ocorrer em milho na fase reprodutiva, quando foi observado maior população de tesourinhas e que ocorreu as menores perdas ocasionadas pela *H. zea* e pela *S. frugiperda* (Tabelas 2 e 3, figuras 3 e 4).

Além das tesourinhas, outros inimigos naturais podem exercer importante papel na regulação populacional da *H. zea* e da *S. frugiperda*. É comum em lavouras de milho a presença de aranhas, formigas, besouros, percevejos e de bicho lixeiro predando ovos e larvas de insetos pragas (Picanço et al., 2004; Daly & Buntin, 2005; Fernandes et al., 2007). Esses predadores tornam-se mais freqüentes durante o período de florescimento e emissão de espigas, devido a maior diversidade de alimentos (presas, pólen e nectar). A diversidade de alimento aumenta a longevidade e a capacidade reprodutiva dos predadores, que por sua vez, os tornam mais eficazes em regular a população de insetos filófagos (Begum et al., 2006) (Figura 4).

1.6. REFERÊNCIAS CONSULTADAS

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ed, 212p, 1997.
- Albuquerque F. A.; Pattaro, F. C.; Borges L. M.; Lima R. S.; Zabini, A. V. Insetos associados à cultura da aceroleira (*Malpighia glabra* L.) na região de Maringá, estado do Paraná. *Acta Scientiarum Agronomy*. 24: 1245-1249, 2002.
- Ali, M. I.; Luttrell, R. G.; Young, S. Y. Susceptibilities of *Helicoverpa zea* and *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) populations to Cry1Ac insecticidal protein. *Insecticide Resistance and Resistance Management*. 99, 164-175, 2006.
- Bacci, L.; Picanço, M. C.; Gonring, A. H. R.; Guedes, R. N. C.; Crespo, A. L. B. Critical yield components and key loss factors of tropical cucumber crops. *Crop Protection*. 25, 1117-1125, 2006.
- Begum, H. H.; Osaki, M.; Nanamori, M.; Watanabe, T.; Shinano, T.; Rao, I.M. Role of phosphoenolpyruvate carboxylase in the adaptation of a tropical forage grass to low-phosphorus acid soils. *Journal of Plant Nutrition*. 29, 35-57, 2006.
- Bergamaschi, H.; Dalmago, G. A.; Bergonci, J. I.; Bianchi, C. A. M.; Müller, A. G.; Comiran, F.; Heckler, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 39, 831-839, 2004.
- Bergamaschi, H.; Dalmago, G. A.; Comiran, F.; Bergonci, J. I., Müller, A. G.; França, S.; Santos, A. O.; Radin, B.; Bianchi, C. A. M.; Pereira, P. G. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 41, 243-249, 2006.
- Brookes, G. & Barfoot, P. Global impact of biotech crops: Socio-economic and environmental effects. 1996-2004, 2006.

- Brunel, O. & Rull, J. The Natural History and Unusual Mating Behavior of *Euxesta bilimeki* (Diptera: Ulidiidae). *Annals of the Entomological Society of America*. 103, 111-119, 2010.
- Céleres. Relatório Biotecnológico. 7p, 2012. Disponível em (http://www.celeres.com.br/pdf/RelBiotecBrasil_1201_vf.pdf).
- Chandler L. Annual Report for 1976. Goiânia-GO. 47 p, 1977.
- Colli, W. Organismos transgênicos no Brasil: regular ou desregular. *Revista USP*, 89; 148-173, 2011.
- CONAB . Companhia Nacional de Abastecimento. (Brasil) Acompanhamento da safra brasileira: grãos. 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/3105b7579c30b75639a0d4d319f94be1..pdf>>. Acesso em: Fevereiro de 2013.
- CONAB . Companhia Nacional de Abastecimento. (Brasil) Acompanhamento da safra brasileira: grãos. 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_02_09_17_04_07_boletim_fevereiro-11..pdf>. Acesso em: Fevereiro 2012.
- Coulter, J. A.; Nafziger, E. D.; Janssen, M. R.; Pedersen, P. Response of Bt and near-isoline corn hybrids to plant density. *Agronomy Journal*. 102, 103–111, 2011.
- Cruz, I. Potencial de *Doru luteipes* como predador de *Spodoptera frugiperda* em condições de campo. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1985/1987, Sete Lagoas. .4, 85-86,1991.
- Cruz, I.; Alvarenga, C. D.; Figueiredo, P. E. F. Biologia de *Doru luteipes* (Scudder) e sua capacidade predatória de ovos de *Helicoverpa zea* (Boddie). *An. Soco Entomol.* 24, 273-278, 1995.
- Cruz, I. Manejo de pragas da cultura do milho. In: Galvão, J.C.C. & Miranda, G.V. *Tecnologias de produção de milho*. Editora UFV. 1ªed, 311-366, 2004.
- CTNBio. Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. Parecer Técnico N°1.100/2007. Acessado em Fevereiro de 2013. Disponível em (<http://www.ctnbio.gov.br/index.php/content/view/14784.html>).
- Daly, T. & Buntin, G. D. Effect of *Bacillus thuringiensis* transgenic corn for lepidopteran on nontarget arthropods. *Environmental Entomology*. 34, 1292-1301, 2005.
- Dowd, P. F.; Pingel, R. L.; Ruhl, D.; Shasha, B. S.; Behle, R. W.; Penland, D. R.; Mcguire, M. R.; Faron, E. J. Multiacreage evaluation of aerially applied adherent malathion granules for selective insect control and indirect reduction of mycotoxigenic fungi in specialty corn. *Journal Economic Entomology*. 93, 1424-1428, 2000.
- Faleiro, F.G.; Picanço, M.C.; Guedes, R.N.C.; Miranda, M.M.M.; Araújo, J.M. Intensidade de perdas em 49 populações de milho (*Zea mays* L.) cultivadas

- em condições de baixa tecnologia. Revista Ciência e Prática. 19, 272-280, 1995.
- Fancelli, A. L.; Dourado Neto, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, p360, 2000.
- Fernandes, O. A.; Faria, M.; Martinelli, S.; Schmidt, F.; Carvalho, V. F.; Moro, G. Short-term assessment of Bt maize on non-target arthropods in Brazil. Scientia Agricola. 64, 249-255, 2007.
- Ferreira, L. R.; Viana, R. G.; Agnes, E. L.; Tuffi Santos, L. D.; Gomes, R. J.; Machado, A. F. L.; Freitas, L. H. L. Integração Lavoura pecuária em pequenas propriedades formação de pastagem via consórcio milho-braquiária. In: Embrapa Gado de Leite. (Org.). Estratégia de manejo visando à melhoria da pecuária de leite familiar do Norte de Minas e do Vale do Jequitinhonha. 1 ed. Juiz de Fora: Embrapa. 1, p.45-85, 2008.
- Frías, D. L. Diferencias de microhabitats entre *Euxesta eluta* y *Euxesta annonae* (Diptera: Otitidae). Agricultura Tecnica. 41, 110-114, 1981.
- Fritz, R. S. & Simms, E. L. Plant Resistance to Herbivores and Pathogens: Ecology, evolution and genetics. Chicago: Chicago University Press. 590 p, 1992.
- Giles, K. L.; Royer, T. A.; Elliot, N. C.; Kindler, S.D. Development and validation of a binomial sequential sampling plan for the greenbug (Homoptera: Aplanidae) infesting winter wheat in the southern plains. Journal of Economic Entomology. 93, 1522-1530, 2000.
- Guerreiro, J. C.; Filho, E. B.; Busoli, A. C. Ocorrência estacional de *Doru luteipes* na cultura do milho em São Paulo, Brasil. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología. 70, 46-49, 2003.
- Guy, M. P. & Sutherland, J. P. Can biological control benefit from genetically-modified crops? Tritrophic interactions on insect-resistant transgenic plants. Physiological Entomology. 29, 257-268, 2004.
- Hamidi, A.; Khodabandeh, N.; Dabbagh Mohammady, A. Plant density and nitrogen effects on some traits of maize (*Zea mays* L.). Plant Ecophysiology. 2, 47-52, 2010.
- Harcourt, D.G. Crop life tables as a pest management tool. Canadian Entomologist. 102, 950-955, 1970.
- Horner, T. A.; Dively, G. P.; Herbert, D. A. Development, Survival and Fitness Performance of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) in MON810 Bt Field Corn. Journal of Economic Entomology, 96, 914-924, 2003.
- Huang, J.; Rozelle, S.; Pray, C. E.; Wang, Q. Plant biotechnology in the developing world: the case of China. Science. 295, 674-677, 2002.
- Kasele, I. N.; Nyirenda, F.; Nielsen, D. C.; Andria, R. Etephon alters corn growth, water use and grain yield under water stress. Agronomy Journal. 86, 283-288, 1994.

- Laserna, M.P.; Maddonna, G.A.; López, C.G. Phenotypic variations between non-transgenic and transgenic maize hybrids. *Field Crops Research* 134, 175-184, 2012.
- Leite, G.L.D.; Picanço, M.C.; Madeira, N.R.; Zanoncio, J.C. Efeito de inseticidas sistêmicos aplicados no solo na produção do feijoeiro. *Bragantia*. 55, 279-287, 1996.
- Loos, R.A.; Silva, D.J. H; Fontes, P.C.R.; Picanço, M.C; Gontijo, L.M.; Silva, É.M; Semeão, A.A. Identificação e quantificação dos componentes de perdas de produção do tomateiro. 22, 238-242, 2004.
- Lu, Y.; Wu, K.; Jiang, Y.; Xia, B.; Li, P.; Feng, H.; Wyckhuys, K.; Guo, Y. Mirid Bug Outbreaks in Multiple Crops Correlated with Wide-Scale Adoption of Bt Cotton in China. *Science*. 328, 1151-1154, 2010.
- Matzenauer, R. & Machado, F.A. Reunião técnica anual do milho. Porto Alegre. 46p, 2001.
- Michelotto, M.D.; Finoto, E.L.; Martins, A.L.M.; Duarte, A.P. Interação entre transgênicos (Bt) e inseticidas no controle de pragas-chave em híbridos de milho-safrinha. *Arquivos do Instituto Biológico*. 78, 71-79, 2011.
- 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*. 83, 130-138, 1999.
- NiK, M. M.; Babaeian, M.; Tavassoli, A.; Asgharzade, A. Effect of plant density on yield and yield components of corn hybrids (*Zea mays*). *Scientific Research and Essays*. 6, 4821-4825, 2011.
- Picanço, M.C. Entomofauna e danos das pragas associadas a cultura de ervilha (*Pisum sativum* L.), em quatro épocas de plantio e 54 variedades. DS Dissertation, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 310pp.
- Picanço, M. C.; Faleiro, F. G.; Pallini Filho, A.; Matioli, A. L. Perdas na produtividade do tomateiro em sistemas alternativos de controle fitossanitário. *Horticultura Brasileira*. 15, 88-91, 1997.
- Picanço, M. C.; Leite, G. L. D.; Guedes, R. N. C.; Silva, E. A. Yield loss in trellised tomato affected by insecticidal sprays and plant spacing. *Crop Protection*. 17, 447-452, 1998.
- Picanço, M. C.; Galvan, T. Luiz; Galvão, J. C.; Silva, E. C.; Gontijo, L. M. Intensidades de perdas, ataque de insetos-praga e incidência de inimigos naturais em cultivares de milho em cultivo de safrinha. *Ciência e Agrotecnologia*. 27, 339-347, 2003.
- Picanço, M. C.; Paula, Semeão, A. A.; Galvão, J. C. C.; Silva, É. M.; Barros, E. C. Fatores de perdas em cultivares de milho safrinha. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 26, 161-167, 2004.

- Hoshang, R. Effect of Plant Density and Nitrogen Rates on Morphological Characteristics Grain Maize *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2, 4680-4683, 2012.
- Ramos, J. A. M. Tabela de vida em duas épocas de plantio, para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em monocultivo e em consórcio com o milho (*Zea mays* L.) na região de Viçosa, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1982.
- Reis, L. L.; Oliveira, L. J.; Cruz, I. Biologia e potencial de *Doru luteipes* no controle de *Spodoptera frugiperda*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 23, 333-342, 1988.
- Rhoades, D.F. Evolution of chemical defenses against herbivores. New York: Academic Press, 353p, 1979.
- Sangoi, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciência Rural*, Santa Maria. 31, 159-168, 2000.
- Santos, R. F. & Carlesso, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2, 287-294, 1998.
- Seal, D. R.; Ansson, R. K. J; Ondari, K. B. Abundance and reproduction of *Euxesta stigmatis* (Diptera: Otitidae) on sweet corn in different environmental conditions. *Florida Entomologist*. 79, 413-422, 1996.
- Silveira Neto, S.; Nakano, O.; Barbin, D.; Villa Nova, N. A. Manual de ecologia dos insetos. Piracicaba, Ed. Agronômica Ceres, 419p, 1976.
- Southwood & Henderson. Absolute Population Estimates Using Capture-Recapture Experiments. *Ecological Methods*. Blackwell Science. 3rd edition, 576p, 2000.
- Southwood, T. R. E. *Ecological methods*. Halsted Press, Chapman and Hall. London. 524p, 1978.
- Storer, N. P.; Van Duyn, J. W.; Kennedy, G. G. Life history traits of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) on non-Bt and Bt transgenic corn hybrids in eastern North Carolina. *Journal of Economic Entomology*. 94, 1268-1279, 2001.
- Subedi, K.D. & Ma, B.L. Dry matter and nitrogen partitioning patterns in Bt and non-Bt near-isoline maize hybrids. *Crop Science*. 47, 1186-1192, 2007.
- Varley, G. C. & Gradwell, G. R. Key factors in population studies. *Journal Animal Ecology*. 29, 399-401, 1960.
- Weems, H. V. Jr & Skelley, P. E. European Earwig, *Forficula auricularia* Linnaeus (Insecta: Dermaptera: Forficulidae). University of Florida. p3, 2007.
- Wright, G. C.; Smith, R. G.; McWilliam, J. R. Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. Crop growth rate and

yield response. Australian Journal of Agricultural Research. 34, 615-626, 1983.

Yu, H.L.; Li, Y.H.; Wu, K.M. Risk assessment and ecological effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* crops on non-target organisms. Journal of Integrative Plant Biology. 53, 520-538, 2011.

CAPITULO II - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS FATORES DE PERDAS NO MILHO Bt E NÃO-Bt

RESUMO-A distribuição espacial dos insetos é resultante de suas interações com o ambiente. O conhecimento desses padrões é importante para o planejamento de táticas de controle e pode gerar informações úteis para confecção de planos de amostragem. Apesar do conhecimento da distribuição espacial das pragas ser importante para o entendimento da dinâmica de suas populações, ainda são poucas as pesquisas nesse tema. Assim, este estudo teve como objetivo determinar a distribuição espacial de *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae), *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), *Euxesta* spp. (Diptera: Otitidae), *Sitophilus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) e *Cathartus quadricollis* (Coleoptera: Silvanidae) em lavoura de milho Bt (DKB 390 YG (Cry1Ab)) e não-Bt (DKB 390). O estudo foi realizado nas safras 2008/09 e 2009/10 na cidade de Cajuri-Minas Gerais. Foram coletados de 280 a 405 pontos por lavoura. Cada ponto amostral foi constituído por cinco espigas de milho. À distância entre os pontos amostrais foi de 8 metros. As espigas foram levadas para laboratório, onde foram avaliados o número de grãos danificados por *H. zea*, *S. frugiperda* e *Euxesta* spp. e a presença de adultos de *Sitophilus* spp. e *C. quadricollis* nas amostras. Os dados foram submetidos à análise geoestatística utilizando o Software Gs+ versão 9.0. Para todas as características avaliadas e houve ajustamento de semivariogramas isotrópicos tanto no milho Bt como no milho não-Bt, demonstrando a existência de

dependência espacial da presença de injúrias de *H. zea*, *S. frugiperda* e *Euxesta* spp. e de adultos de *C. quadricollis* e *Sitophilus* spp. em todas as direções (ao longo e entre as linhas de cultivo). Os menores alcances observados para as injúrias de *H. zea* e *S. frugiperda* no milho Bt e não-Bt foram de 9 e 9,7 metros. Para *Euxesta* spp. a distância mínima foi de 10 metros no milho Bt e 7 metros no não-Bt. Para *C. quadricollis* a distância foi de 10,7 metros para o milho Bt e 14,30 para o não-Bt. Já para *Sitophilus* spp. a distância foi 131 metros para o Bt e 52 metros para o não-Bt.

Palavras-chave: *Helicoverpa zea*, *Spodoptera frugiperda*, *Sitophilus* spp., alcance, dependência espacial.

CHAPTER II - SPATIAL DISTRIBUTION OF LOSS FACTORS IN Bt AND NON-Bt CORN

ABSTRACT - The spatial distribution of insects is a result of their interactions with the environment. Knowledge of these patterns is important for planning and control tactics may generate useful information for making sampling plans. Despite knowledge of the spatial distribution of pests is important for understanding the dynamics of their populations, still there are few studies in this subject. Thus, this study aimed to determine the spatial distribution of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae), *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), *Euxesta* spp. (Diptera: Otitidae), *Sitophilus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) and *Cathartus quadricollis* (Coleoptera: Silvanidae) in Bt maize crop (DKB 390 YG (Cry1Ab)) and non-Bt (DKB 390). The study was conducted during the harvest in 2008/09 and 2009/10 in the Cajuri City -Minas Gerais. We collected 280-405 points per crop. Each sampling point consisted of five corn cobs. The distance between sampling points was 8 meters. The corn cobs were taken to the laboratory, where we assessed the number of grain damaged by *H. zea*, *S. frugiperda* and *Euxesta* spp. and the presence of adults of *Sitophilus* spp. and *C. quadricollis* the samples. The data were analyzed using the Geostatistical Software version nine + Gs. For all traits were adjustment isotropic semivariogram for both Bt and non-Bt maize, demonstrating the existence of spatial dependence of the presence of injuries *H. zea*, *S. frugiperda* and *Euxesta* spp. and adults of *C. quadricollis* and *Sitophilus* spp. in all directions (along and between the planting rows). The lower reaches of

injuries observed for *H. zea* and *S. frugiperda* the non-Bt and Bt were nine and 9.7 meters. For *Euxesta* spp. the minimum distance was ten meters in Bt corn and seven meters in non-Bt. To *C. quadricollis* distance was 10.7 meters to Bt corn and 14.30 to non-Bt. As for *Sitophilus* spp. the distance is 131 meters to Bt and 52 meters to the non-Bt.

Keywords: *Helicoverpa zea*, *Spodoptera frugiperda*, *Sitophilus* spp., range, spatial dependence.

2.1. INTRODUÇÃO

Existem diversos relatos na literatura de insetos atacando plantas de milho. Os ataques podem iniciar após a semeadura e se estender até a colheita dos grãos. Em função da diversidade e da sazonalidade de ocorrência das pragas, elas são classificadas em pragas iniciais (subterrâneas), pragas da parte aérea, pragas do colmo e pragas das espigas. Outra classificação é quanto a estrutura atacada, onde as que atacam estruturas comercializadas são classificadas como pragas diretas, enquanto as que atacam as estruturas não comercializadas são as indiretas (Gallo et al., 2002).

As pragas podem impactar a produção das lavouras de milho por meio da redução de estandes, redução da capacidade produtiva das plantas, redução da qualidade e inviabilização das estruturas comercializadas. Os danos às estruturas comercializadas influenciam diretamente a produtividades das culturas (Pereira et al., 2000; Picanço et al., 2003; Giolo et al., 2006).

As perdas ocorridas nas espigas são as que mais correlacionam com as perdas totais das lavouras de milho. Elas são causadas pelo o ataque de insetos, distúrbios fisiológicos nas plantas, fungos e roedores (Faleiro et al., 1995; Picanço et al., 2003 e 2004). As perdas a campo pode ocorrer do início de desenvolvimento das espigas até a colheita dos grãos. Os insetos pragas das fases iniciais de desenvolvimento das espigas são a *Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa zea* e *Euxesta* sp.. Essas pragas reduzem a produção devido ao consumo dos estilos-estigma provocando o abortamento de óvulos,

consumo de grãos e o seu ataque favorece a infestação da espiga por fungos e por pragas de armazenamento (Carvalho, 1980).

O controle da *S. frugiperda*, *H. zea* e *Euxesta* sp. nas espigas é difícil e na maioria dos casos, as perdas causadas pelo seu ataque são inevitáveis devido a falta de medidas de controle econômicas e efetivas. Em algumas situações, os produtores aplicam inseticidas a cada 24 ou 48 horas, até os estilos-estigma estarem todos secos (Pitre et al., 1979; Rummel et al., 1986; Mantragolo et al., 1998).

Uma alternativa ao controle químico é a resistência de plantas. Com o advento da biotecnologia, foi possível o desenvolvimento de plantas geneticamente modificadas resistentes a insetos (Michelotto et al., 2011). Genes da bactéria de *Bacillus thuringiensis* (Bt) foram introduzidos em plantas de milho, dando origem ao milho transgênico (milho Bt), que pode conferir resistência a algumas espécies de lepidópteros, coleópteros e dípteros-praga (Armstrong et al., 1995; Bravo et al., 2007). As larvas desses insetos ao alimentarem-se dos tecidos do milho Bt ingerem toxinas que provocam a sua morte (Gill, 1995; Meyers et al., 1997).

O sucesso do controle de pragas é influenciado pela estrutura da paisagem e de como os organismos interagem espacial e temporalmente com paisagens heterogêneas (Turner 1989; With & Crist 1995). Esta abordagem tem sido uma das novas fronteiras da ecologia e vem sendo cada vez mais explorada sob a perspectiva do manejo de pragas (Bacca et al., 2006; 2008). As culturas anuais representam fragmentos de paisagem temporários e as suas presenças são determinantes para a movimentação, distribuição e colonização por pragas. Para as pragas de milho esses padrões são pouco conhecidos e, ainda, não foram objeto de investigação em áreas tropicais e subtropicais.

O padrão de distribuição espacial dos insetos nos ecossistemas pode ser agregado, aleatório ou uniforme. No padrão agregado os indivíduos se relacionam mutuamente e nos padrões uniforme ou aleatório os indivíduos se relacionam de forma independente. O padrão de distribuição espacial resulta da interação do inseto com o ambiente (Young & Young, 2002) e este padrão é

influenciado pela qualidade do hábitat (Kleijna & Angevelde, 2006). Neste contexto, quando os insetos se deparam com habitat com escassez de alimento e abrigo, dificuldade de encontro com parceiros sexuais e condições microclimáticas desfavoráveis eles migram para locais com maiores recursos (Kleijna & Angevelde, 2006). O conhecimento do padrão de distribuição espacial dos insetos-praga possibilita concentrar o esforço amostral e de manejo nos locais com maiores densidades destas espécies (Barrigossi et al., 2001).

Os padrões de distribuição espacial dos insetos têm sido muitas vezes estudados usando-se modelos matemáticos de distribuição de frequência. Nestes modelos têm-se atribuído que ajustes dos dados a distribuição de frequência binomial negativa, Poisson e binomial positiva indicariam padrões de distribuição espacial do inseto agregado, aleatório ou uniforme, respectivamente (Young & Young, 2002). Esses modelos de distribuição de frequência se baseiam na relação média/variância e não consideram o fator espaço. Embora essa relação seja afetada pela distribuição espacial, ela não representa a distribuição do organismo no espaço (Binns et al., 2000). Uma opção para se determinar o padrão de distribuição espacial é a adoção de modelos de geoestatística (Wright et al., 2002).

A geoestatística verifica se o valor observado de uma variável para um determinado local é dependente dos valores de variáveis dos locais vizinhos. Caso exista dependência, a variável exibe autocorrelação espacial. Para a modelagem da dependência espacial em estudos entomológicos com geoestatística é utilizada a função de semivariância, onde os semivariogramas constituem em modelos adequados para medir o padrão de distribuição espacial de insetos (Barrigossi et al., 2001; Bacca et al., 2006; Fernandes et al., 2011).

O conhecimento do padrão de distribuição espacial de pragas constitui uma ferramenta importante para o planejamento de táticas de controle, e gera informações para confecção de planos de amostragem. A amostragem *S. frugiperda*, *H. zea* e *Euxesta* sp. é realizada a campo, onde avalia-se suas injúrias. Já os insetos broqueadores de grãos a amostragem normalmente é

realizada nas unidades armazenadoras. Entretanto, a infestação dos grãos acontece a campo, havendo necessidade de conhecer seus padrões de distribuição espacial e dispersão antes da infestação nas unidades de armazenamento, a fim de se viabilizar a utilização de sistemas de amostragem, antes da colheita. Isto minimizaria o trânsito desses insetos e eventual contaminação de unidades armazenadoras. Assim, este trabalho teve por objetivo determinar a distribuição espacial de *S. frugiperda*, *H. zea*, *Euxesta* spp., *Sitophilus* spp. e *C. quadricollis* em lavouras de milho Bt (Cry1Ab) e não-Bt.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Características gerais

Este trabalho foi realizado em Cajuri-Minas Gerais, em lavouras de milho transgênico e não transgênico. A variedade de milho transgênico (milho Bt) utilizada foi a DKB 390 YG (Cry1Ab) e a não transgênica era a isolinha DKB 390. O espaçamento utilizado foi de 0,7 metros (m) entre as entrelinhas e de 0,20m entre plantas. A adubação de plantio foi de 500 Kg/ha de 8-24-12, na cobertura foi utilizado 500 Kg/ha do adubo 30-0-10 dividida em duas aplicações. Foram realizados os tratos culturais e controle fitossanitário recomendados para a cultura.

Os dados experimentais foram coletados na safra 2008/2009 e 2009/2010. As amostras foram coletadas em pontos espaçados a cada 8 m na linha e 10 m entre linhas de cultivo. Após percorrer as linhas, voltava-se no início das mesmas e iniciava-se procedimento em um ponto 10 m abaixo. Em cada ponto amostral foram coletadas 5 espigas. As espigas foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o laboratório, onde foi contabilizado o número de grãos danificados por lagartas (*Helicoverpa zea* e *Spodoptera frugiperda*) e pela mosca das espigas *Euxesta* spp., e contabilizou também o número de adultos de *Sitophilus* spp. e *Carthatus quadricollis*. Os talhões onde se realizou as amostragens tinham de dois a quatro hectares.

2.2.2. Análise geoestatística

Para determinar a distância máxima de interferência entre os pontos de amostragens, ajustou-se modelos de semivariogramas, usando a fórmula:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(ij)|h_{ij} \approx h} (c_i - c_j)^2 \quad , \text{ onde:}$$

$N(h)$ é o número de pares de pontos separados a uma distância h , c_i é o número de grãos danificados e de insetos adultos do primeiro par de pontos e c_j é o número de grãos danificados e de insetos adultos do segundo par de pontos, tomados dois a dois.

Foram calculados outros parâmetros importantes dos semivariogramas, tais como patamar (C), efeito pepita (C_0) e alcance da dependência espacial (A_0) (Gumprecht et al., 2009).

Posteriormente, com os parâmetros do semivariograma identificaram-se os eixos de anisotropia ou isotropia da distribuição dos dados amostrais (Bacca et al. 2006). Quando o semivariograma é idêntico para qualquer direção de h ele é chamado de isotrópico e quando o semivariograma apresenta os parâmetros C , C_0 , A_0 e/ou modelo diferenciado dependendo da direção de h , ele é chamado anisotrópico. Caso ocorra isotropia, um único semivariograma é ajustado. Por outro lado, no caso de anisotropia, Vieira (1995) orienta que se ajuste um semivariograma para cada direção.

A seleção do r modelo de semivariograma foi realizada pela validação cruzada, usando-se todos os pontos de amostragem. Pela validação cruzada obtém-se os parâmetros β_0 (intercepto) e β_1 (inclinação) do ajuste do modelo de regressão linear dos valores observados em função dos valores estimados. Quanto mais próximas de 1 e de 0 forem as estimativas obtidas das curvas de regressão para os parâmetros β_1 e β_0 , respectivamente, melhor será o modelo de dependência espacial (Isaaks & Srivastava, 1989). Também para seleção do modelo de semivariograma utilizou-se a soma de quadrado do resíduo (SQR) e o coeficiente de determinação (R^2) da regressão. Quanto menor for o valor do SQR e mais próximo de 1 for o R^2 , melhor é a validação do modelo (Murphy & Sternitzke 1979).

Após determinar a dependência espacial entre amostras, utilizou-se a metodologia da Krigagem para estimar os valores amostrados e construção do mapa de distribuição das injúrias de por *S. frugiperda*, *H. zea* e *Euxesta* spp. e de adultos *Sitophilus* spp. e *C. quadricollis* (Farias et al., 2003). As análises espaciais foram realizadas pelo software Gs+ versão 9 (Geostatistics for the Environmental Sciences, Gamma Design Software, LLC).

2.3. RESULTADOS

As espécies de insetos-praga que foram mais freqüentes nas amostras do milho transgênico e não-transgênico nos dois anos de amostragem foram *C. quadricollis* e *Sitophilus* spp. (Tabela 1).

Além da presença das pragas broqueadoras de grãos, foi quantificado também as perdas de grãos provocada pela *Euxesta* spp., *H. zea*, *S. frugiperda* e por ratos. As injurias provocadas pela *H. zea*, *S. frugiperda* foram agrupadas e classificadas como injurias provocadas por lagartas (Tabela 1).

Para as espécies/família ou grupo mais freqüentes (>10%) nos dois anos de amostragem realizou-se o estudo da distribuição espacial. Dos 60 modelos de semivariogramas analisados, 17 foram selecionados por apresentarem menor valor de β_0 (mais próximo de zero), maior β_1 (mais próximo de 1) e menor valor de SQR (soma de quadrado do resíduo). Dos 17 modelos, oito foram esférico, seis exponencial e três gaussiano.

Os ajustes dos modelos de semivariogramas demonstraram existir dependência espacial do ataque das lagartas, *Euxesta* sp. e dos insetos broqueadores de grãos em condições de campo (Tabela 2 e Figura 1). O grau de dependência espacial (GDE) das injurias e a presença dos insetos pragas, apresentaram de forte ($GDE < 0,25$) a moderada ($0,25 < GDE < 0,75$) dependência espacial, com exceção do modelo ajustado para os dados de *Sitophilus* spp. amostrado no milho não-Bt no primeiro ano (Tabela 2).

O alcance das injúrias das lagartas variou de nove a 10,50 m, o da *Euxesta* spp. variou de 6,90 a 12,20 m, o de *Sitophilus* spp. de 51,90 a 170,70, o de *C. quadricollis* variou de 10,70 a 80,40 m (Tabela 2).

Os mapas de distribuição espacial para as lagartas apresentaram predominância de injúrias acima de 100, distribuídas em um padrão quase que uniforme nas lavouras dos milhos Bt e no não-Bt. Para a *Euxesta* spp. houve predominância de injúrias de 20 a 100, e manchas de agregação com injurias entre 100 e 500. Demonstrando que a *Euxesta* spp. tende a ter uma distribuição uniforme com manchas de agregação, esse fenômeno foi comum tanto no milho transgênico e não-transgênico (Figura 1).

A densidade de *C. quadricollis* no primeiro ano de amostragem variou de 0 a 100 indivíduos por amostra, com predominância de densidades de 2 a 10 indivíduos. A movimentação de *C. quadricollis* tendeu a ser maior entre as linhas de milho do que no sentido das linhas do milho. No segundo ano de amostragem os mapas de densidade de *C. quadricollis* apresentaram predominância de densidades de 10 a 20 indivíduos por amostra, e manchas de agregação com densidades de 20 a 100 indivíduos. Esses resultados refletiram as maiores freqüências de amostras contaminadas por *C. quadricollis* no segundo ano em relação ao primeiro. No segundo ano houve, também, maior tendência de movimentação entre as linhas de cultivo do que ao longo das fileiras de cultivo (Tabela 1 e Figura1).

Os mapas de distribuição espacial de *Sitophilus* spp. no milho Bt apresentaram densidades de 0 a 100 indivíduos por amostra, e agregação na extremidade esquerda das lavouras. Além disso, houve maior movimentação no sentido das linhas de cultivo. No milho não-Bt, as densidades de *Sitophilus* spp. variaram de 0 a 20 no primeiro e de 0 a 100 no segundo ano (Figura 1).

Tabela 1. Frequência de espigas de milho Bt (Cry1Ab) e não-Bt com injúrias e com presença de insetos broqueadores de grãos, e rato.

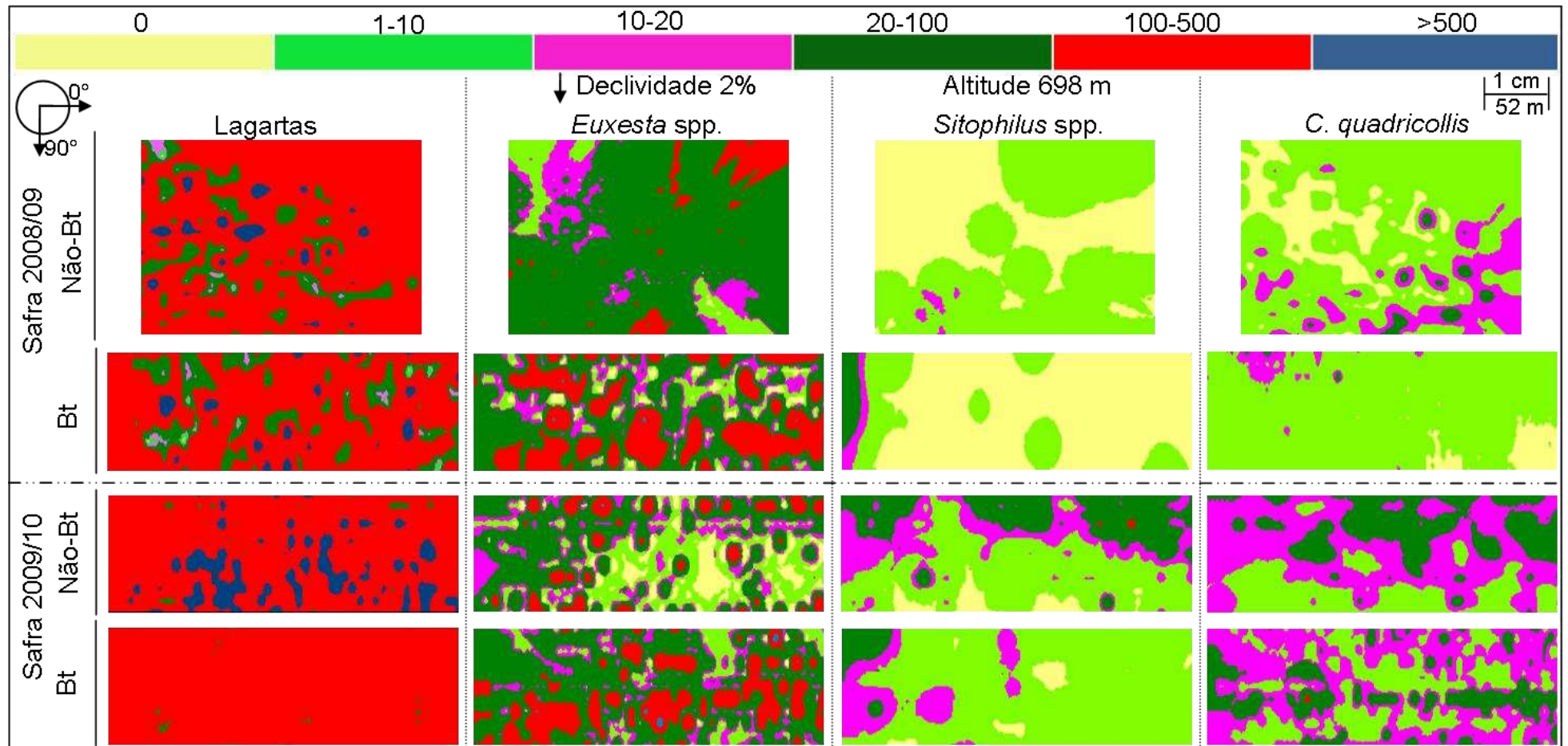
Espécie/grupo	Frequência (%)			
	Milho Bt		Milho não-Bt	
	2008/2009	2009/10	2008/2009	2009/10
<i>Cathartus quadricollis</i> .	63,54	91,85	66,02	91,03
<i>Cryptolestes</i> sp.	0,36	8,40	1,62	6,79
<i>Sitophilus</i> spp.	10,47	61,73	15,21	65,76
<i>Tribolium</i> sp.	0,36	4,44	0,65	8,97
<i>Euxesta</i> spp.	42,24	38,77	32,04	22,55
Lagartas (<i>H. zea</i> e <i>S. frugiperda</i>)	77,98	85,68	82,52	94,29
Rato	4,33	2,00	7,12	1,36

Tabela 2. Validação cruzada pelo método da krigagem dos valores observados e estimados pelos modelos esférico, exponencial e gaussiano de injúria de lagartas (*H. zea* e *S. frugiperda*) e *Euxesta* spp. e adultos do *Sitophilus* spp. e *Cathartus quadricollis* em espigas de milho Bt (Cry1Ab) e não-Bt.

Safra	Espécie/grupo	Modelo	β_1	β_0	SQR	C_0	$C_0 + C$	A (m)	R^2	GDE	n
Milho Bt											
2008/2009	Lagartas	Esférico	0.26	151.35	5×10^7	3000	50680	10.50	0.94	0.06	307
	<i>Euxesta</i> spp.	Esférico	0.15	77.68	8326176	810	21260	10.00	0.28	0.04	307
	<i>Sitophilus</i> spp.	Gaussiano	0.99	0.04	170	12.66	40.92	131.06	0.89	0.31	307
	<i>C. quadricollis</i>	Exponencial	0.67	1.45	297	9.33	57.24	15.90	0.84	0.16	307
Milho não-Bt											
2008/2009	Lagartas	Esférico	0.16	177.46	1.59×10^8	2200	48770	9.70	0.06	0.05	280
	<i>Euxesta</i> spp.	Exponencial	0.39	27.54	3926667	1040	8990	6.90	0.01	0.12	280
	<i>Sitophilus</i> spp.	Exponencial	0.32	1.41	890	67.88	74.98	116.98	0.26	0.91	280
	<i>C. quadricollis</i>	Esférico	0.64	1.87	705	2.34	48.99	14.32	0.15	0.05	280
Milho Bt											
2009/2010	Lagartas	Exponencial	0.12	197.07	$2,0 \times 10^7$	8400	58900	9.00	0.94	0.14	405
	<i>Euxesta</i> spp.	Esférico	0.48	40.42	$1,86 \times 10^7$	1180	21620	10.70	0.02	0.05	405
	<i>Sitophilus</i> spp.	Gaussiano	0.23	4.15	2626	98.99	169.94	170.67	0.76	0.58	405
	<i>C. quadricollis</i>	Esférico	0.53	7.18	5600	7.10	295.76	10.70	0.02	0.02	405
Milho não-Bt											
2009/2010	Lagartas	Esférico	0.27	272.38	$5,99 \times 10^7$	5600	79510	10.10	0.04	0.07	368
	<i>Euxesta</i> spp.	Esférico	0.36	22.52	2973253	260	7149	12.20	0.15	0.04	368
	<i>Sitophilus</i> spp.	Exponencial	0.77	3.30	45449	250	788.10	51.90	0.71	0.32	368
	<i>C. quadricollis</i>	Exponencial	0.75	4.12	5902	187.50	375.10	80.40	0.76	0.50	368

No cabeçalho: β_0 =intercepto, β_1 = coeficiente angular, SQR=soma de quadrado do resíduo, C_0 =efeito pepita, C=contribuição, $C_0 + C$ =patamar, A=alcance, GDE=grau de dependência espacial e n=número de pontos.

Figura 1. Mapa da distribuição espacial das injúrias de lagarta (*Helicoverpa zea* + *Spodoptera frugiperda*) e *Euxesta* spp. e de adultos de *Sitophilus* spp. e de *Cathartus quadricollis* em lavoura de milho Bt (Cry1Ab) e não-Bt nas safras 2008/09 e 2009/10. Ângulo 0° = sentido da fileira do milho e 90° = sentido entre fileiras do milho. Cajuri-MG.



2.4. DISCUSSÃO

Este trabalho é o primeiro relato da distribuição espacial dos danos às espigas causados pela *Helicoverpa zea*, *Spodoptera frugiperda* e *Euxesta* sp. Além disso, destaca-se por abordar a distribuição espacial da infestação a campo de duas importantes pragas de milho em pós-colheita como o *Sitophilus* spp. e *C. quadricollis*.

As amostragens realizadas nos estudos de distribuição espacial devem reproduzir com fidelidade os parâmetros das populações em estudo, para isso, deve-se utilizar um número mínimo de amostras capaz de estimar o valor médio das estimativas com exatidão (Andreotti, 2005). Especialistas em geoestatística aconselham a utilização de no mínimo 50 amostras nos estudos de distribuição espacial. Nesse estudo, o número mínimo de amostras foi de 280, distribuídas em pontos equidistantes (8 x 10 m). A malha de amostragem refletiu diretamente nos ajustes dos semivariogramas, onde foi observado, para maioria dos fenômenos estudados, baixos valores de efeito pepita (C_0) e altos valores do patamar ($C_0 + C$) (Tabela 2). Altos valores do efeito pepita é causado por erros de medição, número de amostras insuficientes e distância entre pontos de amostragem acima da sensibilidade do teste de indicar dependência espacial (Isaaks & Srivastava, 1989; Andreotti, 2005).

De forma geral, a distribuição espacial das injúrias e da infestação das pragas broqueadoras de grãos apresentaram de moderada a forte dependência espacial e distribuição agregada. Ou seja, plantas próximas aos pontos de

amostragem tenderam a ter grau de injúria e infestação semelhantes aos pontos amostrados (Tabela 2).

É comum em populações de insetos o comportamento de agregação em determinados nichos ecológicos (Ray et al., 2009). O comportamento de agregação pode trazer uma série de benefícios ao longo da história de vida dos insetos. Dentre esses, tem-se facilidade de encontros de parceiros sexuais, localização de alimento e de sítios de reprodução, abrigo e proteção a intempéries climáticas e ação de inseticidas e defesa contra inimigos naturais (Hunter, 2000; Coster-Longman et al., 2002).

O padrão de colonização das lavouras de milho transgênico e não-transgênico pela *H. zea* e *S. frugiperda* apresentaram formato regular, de forma que todas as lavouras apresentaram mais de 500 grãos danificados por ponto de amostragem. A homogeneidade de danos às espigas refletiu no comprimento do alcance dos semivariogramas, havendo diferença apenas de 1,5 m entre o maior e o menor alcance. Embora as espigas de milho sejam recursos efêmeros (em média 2 meses de duração), o curto tempo de exposição foi suficiente para rápida colonização das lavouras. A produção de feromônio sexual pela *H. zea* é potencializado na presença de plantas de milho, além disso, machos de *H. zea* respondem mais ativamente ao feromônio sexual em mistura com voláteis de plantas de milho (Raina et al., 1992; Ochieng et al., 2002), potencializando os encontros sexuais e por conseguinte a colonização das lavouras. Além disso, lepidópteros evitam ovipositar em sítios ocupados por indivíduos da mesma espécie ou por outras espécies de mesmo hábito alimentar, esse comportamento diminui a competição inter e intra-específica e contribui para a distribuição desses organismos no espaço (Thiéry et al., 1995). Outro fato que deve ser mencionado é a dispersão *H. zea* e *S. frugiperda* durante a fase larval, larvas dessas espécies possuem o hábito de migrarem para plantas adjacentes as plantas em que as fêmeas ovipositaram (Ross & Ostlie, 1990).

A colonização das lavouras de milho pela *Euxesta* sp. apresentou padrão regular, com predomínio de áreas com danos de 20 a 100 e regiões de concentração de danos de 100 a 500. A agregação da *Euxesta* sp. pode esta

relacionada às características comportamentais deste inseto. Os adultos tendem a se concentrar nas faces das lavouras voltadas para o sentido de deslocamento do sol. No período da manhã os adultos se concentraram na face leste e no final da tarde na face oeste, fazendo com que os encontros entre eles aumentem a probabilidade de acasalamentos e, conseqüentemente, plantas localizadas nessas regiões apresentam maiores probabilidades de serem atacadas (Seal et al., 1995; Weldom, 2007). Algumas espécies de *Euxesta* preferem ovipositar em espigas não atacadas pela *H. zea*, esse comportamento pode ter induzido a concentração de ataque em regiões de menor ocorrência de ataque de *H. zea* (Frias, 1981).

Os adultos de *Sitophilus* spp. e *C. quadricollis* apresentaram focos de infestação de formato regular, com níveis de infestações que variaram de 0 a 100 indivíduos (Figura 1). No primeiro ano de amostragem, houve predomínio de infestações de *C. quadricollis*, com densidades variando de um a 10 indivíduos e manchas de infestação com densidade 10 a 20 indivíduos, no segundo ano houve predomínio de infestação de 10 a 20 e manchas com infestações de 20 a 100 indivíduos. O mesmo fenômeno ocorreu com o *Sitophilus* spp., sendo que no primeiro ano houve predomínio de áreas com baixa infestação e manchas com densidades entre 1 a 100 indivíduos. No segundo ano, houve predomínio de infestação de um a 10 indivíduos e manchas com densidades entre 10 a 100 indivíduos. A diferença de infestação entre os anos de cultivo pode estar relacionada ao histórico da área de cultivada. No primeiro ano, o local era ocupado com pastagem degradada, grande parte das espigas desse ano não foram colhidas, devido ao pequeno tamanho. Essas espigas podem ter servido de focos de infestação para os cultivos do ano seguinte.

O padrão de distribuição apresentado por *Sitophilus* spp e *C. quadricollis* nas lavouras de milho foram semelhantes, onde foram observadas manchas com alta concentração de indivíduos margeadas por áreas com diminuição gradativa de infestação (Figura 1). A ocorrência de manchas de concentração (20 a 100 indivíduos) pode estar relacionada ao fato de que coleópteros bloqueadores de grãos potencializam a produção de feromônio sexual/agregação na presença de alimento. Além disso, ocorre sinergismo

entre os voláteis das espigas de milho com os feromônios aumentando as respostas dos insetos a esses compostos, potencializando o encontro do parceiro sexual e dos sítios de alimentação e acasalamento (Pierce et al., 1988; Landolt, 1997; Oliveira et al., 2003; Miguens et al., 2011). Os adultos começam a migrarem para outras espigas, iniciando um novo ciclo de colonização a medida que os recursos exaurem (Oliveira et al., 2003).

Pragas de grãos armazenados apresentam alta capacidade de deslocamento tanto entre lavouras, quanto de unidades de armazenamento para os cultivos. Evidência disto se deve ao fato de terem sido encontradas altas densidades de adultos de *Sitophilus* spp. e *C. quadricollis* nas bordas das lavouras. Tendo em vista que na região onde a lavoura foi implantada se concentra uma grande quantidade de pequenas propriedades com produção de milho e com a presença de unidades armazenadoras, é possível que os adultos tenham vindo destes locais. Adultos de *S. zeamais* podem se deslocar até 400 m de distância (Giles, 1969; Chesnut, 1972).

Embora alguns mapas tenham demonstrado tendência de dispersão maior em alguma direção, o fato de que todos os semivariogramas foram isotrópicos, demonstrou que os alcances foram semelhantes em todas as direções, inclusive na direção das fileiras como entre as fileiras de milho (Tabela 2).

O alcance é a linha divisória para a utilização da geoestatística ou da estatística clássica. Portanto, o alcance deve ser a distância máxima entre as amostras coletadas. Ao adotar essas distâncias amostrais os dados não sofrerão influência da distribuição espacial do inseto, podendo-se assim utilizar as metodologias clássicas de amostragem convencional e seqüencial de insetos nos campos de cultivos (Young & Young, 2002; Farias et al., 2003).

Os níveis de injúrias provocada por insetos correlacionam positivamente com a sua densidade populacional (Picanço et al., 2003; Fernandes et al., 2011). Embora as lavouras de milho sejam manchas de recursos temporário, a presença de plantas hospedeiras e unidades de armazenamento podem servir como fonte de pragas para as lavouras. O cultivo sucessivo de plantas hospedeiras ou a presença de hospedeiros alternativo no ambiente representa

uma continuidade espacial de recursos, possibilitando aos insetos sobreviverem em períodos de ausência de hospedeiros preferenciais. Os insetos podem regular o ciclo de vida em função seus hospedeiros, as fêmeas podem interromper a produção de feromônio sexual e ao refutarem o acasalamento na ausência de hospedeiro adequado (Raina et al., 1992; Landolt, 1997).

O padrão de agregação nas bordas das lavouras é comum em populações de insetos. Insetos migrantes estabelecem inicialmente nas plantas localizadas nas bordas das lavouras, se as condições forem favoráveis toda plantação pode ser colonizada, esse processo pode ocorrer repetidamente durante a temporada de migração ou enquanto durar o recurso (Moral Garcia, 2006). A migração funciona como elo entre os ciclos populacionais dos locais de colonização e extinção das manchas formadas pelas lavouras de milho (Hanski, 1999). Espécies que exploram recursos em manchas temporárias tendem a possuir habilidade de dispersão bem desenvolvida (Novotný, 1994). As plantas de milho passam por alterações previsíveis na sua aparência, isto pode funcionar como sinais de redução de recurso para algumas espécies e adequabilidade para outras (Leather, 1990).

De fato, os insetos estudados apresentam alta capacidade deslocamento tanto entre lavouras, quanto de unidades de armazenamento para os cultivos (Giles, 1969; Chesnut, 1972). Evidência disto se deve ao fato de terem sido encontrado níveis elevados de injúrias de *H. zea*, *S. frugiperda* e *Euxesta* spp. e altas de densidades de adultos de *Sitophilus* spp. e *Cathartus quadricollis* nas lavouras de milho. Na região de Cajuri, a semeadura do milho ocorre nos meses de setembro a novembro, a colheita inicia-se no fim de fevereiro e se estende até maio. Grande parte do milho cultivado nessa época é plantado em pequenas propriedades, onde se emprega baixa tecnologia. A defasagem das datas de semeadura e a utilização de variedades de ciclos de diferentes podem favorecer a população de pragas, de forma que as lavouras semeadas no início da safra podem servir como fonte de pragas para as demais.

Nossos resultados elucidam modelos geoestatísticos com erros de estimação não viesados, com ajustes adequados para o monitoramento *H. zea*, *S. frugiperda*, *Euxesta* spp., *Sitophilus* spp. e *C. quadricollis*. É necessário mais estudos visando à determinação de estratégias e táticas de manejo dessas pragas, possibilitando reduzir as perdas tanto em campo como nas unidades armazenadoras. Além disso, a tendência de dispersão dos insetos entre fileiras e ao longo das fileiras mostra que as amostras para o monitoramento podem ser tomadas em qualquer direção.

Os resultados desse trabalho são importantes para planejamento de localização de cultivos de milho e construção de armazenamentos de forma a minimizar a ocorrência de infestação de *Sitophilus* spp. e *C. quadricollis* ainda no campo de cultivo.

2.5. REFERÊNCIAS CONSULTADAS

- Andriotti, J. L. S. Fundamentos de Estatística e Geoestatística. Porto Alegre: Editora Unisinos. 2005
- Armstrong, C. L.; Parker, G. B.; Pershing, J. C.; Brown, S. M.; Sanders, P. R.; Duncan, D. R.; Stone, T.; Dean, D. A.; DeBoer, D. L.; Hart, J.; Howe, A. R.; Morrish, F. M.; Pajeau, M. E.; Petersen, W. L.; Reich, B. J.; Rodriguez, R.; Santino, C. G.; Sato, S. J.; Schuler, W.; Sims, S. R.; Stehling, S.; Tarochione, L. J.; Fromm, M. E. Field evaluation of European corn borer control in progeny of 173 transgenic corn events expressing an insecticidal protein from *Bacillus thuringiensis*. *Crop Science*. 35, 550-557, 1995
- Bacca T.; Lima, E. R.; Picanço, M. C.; Guedes, R. N. C.; Viana, J. H. M.. Sampling plan for the Coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* with sex pheromone traps. *Journal of Applied Entomology*. 132, 430-438, 2008.
- Bacca T.; Lima, E. R.; Picanço, M. C.; Guedes, R. N. C.; Viana, J. H. N. Optimum spacing of pheromone traps for monitoring the Coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 119, 39-45, 2006.
- Barrigossi, J. A. F.; Young, L. J.; Crawford, C. A. G.; Hein, G. L.; Higley, L. G. Spatial and probability distribution of Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) egg mass populations in dry bean. *Environmental Entomology*. 30, 244-253, 2001.
- Binns, M. R.; Nyrop, J. P.; Werf, W. V. D. Sampling and monitoring in crop protection: the theoretical basis for developing practical decision guides. Cambridge, 281p, 2000.
- Bravo, A.; Gill, S. S.; Soberón, M. Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon*. 49, 423-435, 2007.
- Carvalho, R. P. L. Pragas do milho. In: Paterniani, E. (ed.). Melhoramento e produção de milho no Brasil. Piracicaba: Fundação Cargill. 505-570p, 1980.

- Chesnut, T.L. Flight Habits of the Maize Weevil as Related to Field Infestation of Corn. *Journal of Economic Entomology*. 65, 434-435, 1972.
- Coster-Longman, C.; Landi, M.; Turillazzi, S. The role of passive defence (Selfish Herd and Dilution Effect) in the gregarious nesting of *Liostenogaster* wasps (Vespidae, Hymenoptera, Stenogastrinae). *Journal of Insect Behavior*. 15, 331-350, 2002.
- Faleiro, F.G.; Picanço, M.C.; Guedes, R.N.C.; Miranda, M.M.M.; Araújo, J.M. Intensidade de perdas em 49 populações de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em condições de baixa tecnologia. *Revista Ciência e Prática*. 19, 272-280, 1995.
- Farias, P. R. S; Nociti, L. A. S; Barros, J. C.; Perecin, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 25, 235-241, 2003.
- Fernandes, F. L.; Picanço, M. C.; Campos, S. O.; Bastos, C. S.; Chediak, M.; Guedes, R. N. C.; Silva, R. S. Economic injury level for the coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) using attractive traps in Brazilian Coffee fields. *Journal of Economic Entomology*. 104, 1909-1917, 2011.
- Frías, D. L. Diferencias de microhabitats entre *Euxesta eluta* y *Euxesta annonae* (Diptera: Otitidae). *Agricultura Técnica*. 41, 110-114, 1981.
- Gallo, D.; Nakano, O.; Silveira Neto, S.S., Carvalho, R.P.L.; Baptista, G.C.; Berti Filho, E.; Parra, J.R.P.; Zucchi, R.A.; Alves, S.B.; Vendramim, J.D. Marchini, L.C.; Lopes, J.R.S.; Omoto, C. *Entomologia Agrícola*. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920p.
- Gill, S.S. Mechanism of action of *Bacillus thuringiensis* toxins. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 90, 69-74, 1995.
- Giolo, F. P.; Busato, G. R.; Garcia, M. S.; Manzoni, C. G.; Bernardi, O.; Zart, M. Biologia de *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae) em duas dietas artificiais. *Revista Brasileira de Agrociência*. 12, 167-171, 2006.
- Gumprecht D.; Muller, W. G.; Rodriguez-Diaz, J. M. Designs for detecting spatial dependence. *Geographical Analysis*. 41, 127-143, 2009.
- Hanski, I. *Metapopulation Ecology*. Oxford: Oxford University Press. 324p, 1999.
- Hartstack, A. W.; Hollingsworth, J. P.; Ridgway, R. L.; Coppedge, J. R. A population dynamics study of the bollworm and the tobacco budworm with light traps. *Environmental Entomology*. 2, 244-252, 1973.
- Hunter, A. F. Gregariousness and repellent defences in the survival of phytophagous insects. *Oikos*. 91, 213-224, 2000.
- Isaaks, E. H. & Srivastava, R. M.. *Na introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University, 561p, 1989.

- Kleijna, D. & Langevelde, F. V. Interacting effects of landscape context and habitat quality on flower visiting insects in agricultural landscapes. *Basic and Applied Ecology*. 7, 201-214, 2006.
- Landolt, P. J. Host plant influences on sex pheromone behavior of phytophagous insects. *Annual Review Entomology*. 42, 371-91. 1997.
- Leather S. R. Life History Traits Insects Herbivores in Relation to Host Quality. In Bernays, E. A. (Ed). *Insect-plant interactions*. Florida: CRC Press. 175-207p, 1990.
- Lu, Y.; Wu, K.; Jiang, Y.; Xia, B.; Li, P.; Feng, H.; Wyckhuys, K.; Guo, Y. Mirid Bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science*. 328, 1151-1154, 2010.
- Matrangolo, W. J. R.; Cruz, I.; Della Lucia, T. M. Densidade populacional de *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) nas fases de ovo, larva e adulto em milho. *Anais da Sociedade Entomologica do Brasil*. 27, 21-28, 1998.
- Moral Garcia, F. J. Analysis of the spatio-temporal distribution of *Helicoverpa armigera* Hb. in a Tomato Field using a Stochastic Approach. *Biosystems Engineering*. 93, 253-259, 2006.
- Meyers, H. B.; Johnson, D. R.; Singer, T. L.; Page, L. M. Survival of *Helicoverpa zea* Boddie on Bollgard® cotton. In: Beltwide Cotton Conference, 1997, New Orleans. *Proceedings Memphis: National Cotton Council*. 2, 1269-1271, 1997.
- Michelotto, M.D.; Finoto, E.L.; Martins, A.L.M.; Duarte, A.P. Interação entre transgênicos (Bt) e inseticidas no controle de pragas-chave em híbridos de milho-safrinha. *Arquivos do Instituto Biológico*. 78, 71-79, 2011.
- Miguens, F. C.; Magalhães, J. A. S.; Amorim, L. M.; Goebel, V. R.; Le Coustour, N.; Lummerzheim, M.; Moura, J. I. L.; Costa, R. M. Mass Trapping and Biological control of *Rhynchophorus palmarum* L.: A hypothesis based on morphological evidences. *EntomoBrasilis*. 4, 49-55, 2011.
- Murphy, P. A.; Sternitzke, H. S. Growth and yield for loblolly pine in West Gulf. Department of agriculture forest service researcher paper. 8p. 1979.
- Novotný, V. relation between persistence of host plants and wing length in leafhoppers (Hemiptera, Auchenorrhyncha). *Ecological Entomology*. 19, 168-176, 1994.
- Ochieng, S. A.; Park, K. C.; Baker, T. C. Host plant volatiles synergize responses of sex pheromone-specific olfactory receptor neurons in male *Helicoverpa zea*. *J Comp Physiol A*. 188, 325-333, 2002.
- Fernandes, O. D.; Parra, J. R. P.; Neto, A. F.; Pícoli, R.; Borgatto, A. F.; Demétrio, C. G. B. 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, 2003.
- Pereira, E. J. G.; Picanço, M. C.; Guedes, R. N. C.; Faleiro, F. G.; Araújo, J. M. Suscetibilidade de populações de milho a *Spodoptera frugiperda* Smith e *Helicoverpa zea* Bod. (Lepidoptera: Noctuidae). Acta Scientiarum. 22, 931-936, 2000.
- Picanço, M. C.; Galvan, T. Luiz; Galvão, J. C.; Silva, E. C.; Gontijo, L. M. Intensidades de perdas, ataque de insetos-praga e incidência de inimigos naturais em cultivares de milho em cultivo de safrinha. Ciênc. Agrotecnologia. 27, 339-347, 2003.
- Picanço, M. C.; Paula, Semeão, A. A.; Galvão, J. C. C.; Silva, É. M.; Barros, E. C. Fatores de perdas em cultivares de milho safrinha. Acta Scientiarum. Agronomy. 26, 161-167, 2004.
- Pierce, H. D.; Pierce, A. M. JR.; Johnston, B. D.; Oehlschlager, A.C.; Borden, J.H. Aggregation pheromone of square-necked grain beetle, *Cathartus quadricollis* (Guér.). Journal of Chemical Ecology. 14, 2169-2184, 1988.
- Pitre, H. N.; Mistreic, W. J.; Lincoln, C. G. Economic Thresholds: Concepts and Techniques. In Economic threshold and sampling of *Heliothis species* on cotton, corn, soybeans and other host plants. Southern Coop. Ser. Bull. 231, 105p. 1979.
- Raina, A. K.; Kingan, T. G.; Mattoo, A.K. Chemical signals from host plant and sexual behavior in a moth. Science. 255, 592-294, 1992.
- Ray, A.M.; Millar, J. G.; Mcelfresh, J. S.; Swift, I. P.; Barbour, J. D.; Hanks, L. M. Male-produced aggregation pheromone of the cerambycid beetle *Rosalia Funebris*. Journal of Chemical Ecology. 35, p.96-103, 2009.
- Ross, S. E. & Ostlie, K. R. Dispersal and survival of early instars of European corn borer in field corn. J. Econ. Entomol, 83: 831-836, 1990.
- Rummel, D. R.; Leser, J. F.; Slossers, J. E.; Puterka, G. J.; Neeb, C. W.; Walker, J. K.; Benedict, J. H.; Heilman, M. D.; Namken, L. N.; Norman, J. W.; Yuong, J. H. Theory and tactics of *Heliothis* population management. USDA. Cultural and biological control. 316, 38 p, 1986.
- Seal, D. R.; Ansson, R. K. J; Ondari, K. B. Abundance and reproduction of *Euxesta stigmatis* (Diptera: Otitidae) on sweet corn in different environmental conditions. Florida Entomologist. 79, 413-422, 1996.
- Thiéry, D.; Gabel, B.; Farkas, P.; Jarry, M. Egg dispersion in codling moth: influence of egg extract and of its fatty acid constituents. Journal of Chemical Ecology. 21, 2015-2026, 1995.
- Turner, M. G. Landscape ecology: The effect of pattern on process. Annual Review of Ecological Systems. 20, 171-197, 1989.
- Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial. Curso de atualização em conservação de solos. Campinas: IAC. 61p, 1995.

- Weldon, C. W. Influence of male aggregation size on female visitation in *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae). *Australian Journal of Entomology*. 46, 29-34, 2007.
- With, K. A. & Crist, T. O. Critical thresholds in species' responses to landscape structure. *Ecology*. 76, 2446–2459, 1995.
- Wright, R. J.; Devries, T. A.; Young, L. J.; Jarvi, K. J.; Seymour, R. C. Geostatistical analysis of the small-scale distribution of european corn borer (Lepidoptera: Crambidae) larvae and damage in whorl stage corn. *Environmental Entomology*. 31, 160-167, 2002.
- Young, L. J.; Young, J. H. *Statistical Ecology: a population perspective*. Norwel, MA, Kluwer Academic Publishers, 565p, 2002.

3. CONCLUSÕES GERAIS

As perdas de grãos foram o componente crítico de perdas do milho Bt e não-Bt cultivados na Localidade 1 e na Localidade 2.

A *Helicoverpa zea*, *Spodoptera frugiperda* e *Euxesta* são as pragas mais frequentes em espigas de milho Bt e não-Bt em processo de desenvolvimento e enchimento de grãos.

O *Cathartus quadricollis* e o *Sitophilus* spp. são os insetos broqueadores de grãos mais frequentes em espigas de milho Bt e não-Bt em condições de campo.

A distância mínima a ser utilizada para amostragem de *H. zea* e *S. frugiperda* em lavouras de milho Bt e não-Bt é de 9 e 9,7 metros. A amostragem de *Euxesta* sp. deve ser realizada numa distância mínima de 10 metros no milho Bt e 7 metros no não-Bt.

Para *C. quadricollis* a distância mínima para amostragem deve ser de 10,7 metros para o milho Bt e 14,30 para o não-Bt. Já para *Sitophilus* spp. a distância mínima para que ocorra influência de uma amostra na outra a distância deve ser de 131 metros para o Bt e 52 metros para o não-Bt.

A dispersão de *H. zea*, *S. frugiperda* e *Euxesta*, *C. quadricollis* e *Sitophilus* spp. ocorre ao longo das fileiras e no sentido das linhas de milho Bt e não-Bt.