

JULIANA ANDREA MORALES MONJE

**CARUNCHOS VS INSETICIDAS: INDIVIDUALIDADE IMPORTA?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2010

**JULIANA ANDREA MORALES MONJE**

**CARUNCHOS VS INSETICIDAS: INDIVIDUALIDADE IMPORTA?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de fevereiro de 2010

---

**Prof<sup>ª</sup>. Terezinha M. C. Della Lucia**  
**(Co-orientadora)**

---

**Prof. Marcelo Coutinho Picanço**

---

**Prof. Danival José da Silva**

---

**Prof. Antonio Alberto da Silva**

---

**Prof. Raul Narciso Carvalho Guedes**  
**(Orientador)**

A mis papás, Pedro y Lucelly, mis cimientos;

A mi hermanita, Fabiola, mi apoyo;

A mi abue Elisa;

A mis amigas y amigos;

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

A la embajada del Brasil, que a través del convenio PEC-PG, me dio la oportunidad de realizar mis estudios de maestría en la Universidad Federal de Vicosa;

A la Universidad Federal de Vicosa, al programa de pos-graduación en entomología, que me permitió adelantar mi proyecto de realizar mi maestría en Brasil;

Al profesor Raul Narciso Carvalho Guedes, responsable por el laboratorio de Ecotoxicología y mi orientador, que me acogió entre sus estudiantes y siempre se mostró siempre dispuesto a ayudarme. También le agradezco por la confianza que depositó en mí para llevar a cabo el experimento. Por su paciencia y su tiempo durante todas esas conversaciones que me ayudaron tanto para guiarme por el buen camino no solo en la tesis sino en la vida en general;

A mis papás por su apoyo incondicional en todos los proyectos que me he propuesto hasta ahora. Por sus enseñanzas y empeño transmitidos para perseguir nuestros sueños. A mi mamá en particular por su presencia y ayuda como “estagiaria” en los días difíciles después del accidente;

A mi hermana por su fuerza y constante presencia, por su preocupación y estar siempre pendiente de todo lo que ocurría durante mi permanencia en tierra extranjera, por su ánimo en los momentos más difíciles y sus sabias palabras cuando tanto las necesitaba;

A mi abuela, por su fuerza y su apoyo durante mi estadía fuera;

A mis amigas y amigos en Colombia, por estar pendientes de cómo se desarrollaban los acontecimientos durante estos dos años;

A Andrea, Anayansi y Katherine, y a Lily también, por su compañía, comprensión y compartir tantos momentos juntas que me permitieron seguir adelante, a pesar de todo;

A Maria y Natalia que aunque tuvimos poco tiempo para compartir juntas, las recuerdo siempre y fueron muy importantes durante el inicio de esta etapa;

A Felipe por su alegría y ánimo en todo momento tan necesarios para continuar en el proceso;

A Erick, por su apoyo, compañía y paciencia en las varias explicaciones repetidas sobre la misma cosa. Por su tiempo y dedicación. Por su ánimo cuando parecía estar a punto de claudicar. Por su entusiasmo y compromiso con la academia cualidades que me van a quedar como ejemplos por siempre;

A Alberto por sus explicaciones y la ayuda prestada durante la realización de la tesis y el curso en general;

A Danúbia por su ayuda durante la ejecución de la tesis;

A todos los colegas del laboratorio, Ronnie, Nelsa, Natalia, Hudson, Eduardo, Júlio y en especial Lucas por su compañía en esos interminables fines de semana en el laboratorio;

A todos los compañeros, colegas y amigos que de una u otra forma estuvieron presentes durante este proceso y me permitieron llegar hasta este punto final en el que puedo cerrar esta etapa con la satisfacción del deber cumplido.

Gracias infinitas.

## BIOGRAFIA

Juliana Andrea Morales Monje é filha de Pedro Claver Augusto Morales e Lucelly Monje e irmã de Fabiola Morales. Nascida no dia 4 de agosto de 1981, na cidade de Bucaramanga em Santander, Colômbia.

No ano de 2000 ingressou na Universidad de Los Andes em Bogotá, no curso de Biología formando-se no ano de 2005. No ano de 2007 ingressou ao Laboratorio de Entomología Médica da Universidad Nacional de Colombia, e participou do projeto chamado: “Evaluación de la situación de infestación de mosquitos: Diptera-Culicidae en la cuenca del rio Tunjuelito, Bogotá-DC”, no qual tinha a responsabilidade de realizar os bioensaios de sobrevivência para o levantamento do estado da resistência a inseticidas piretróides nas populações do mosquito *Culex quinquefasciatus*, no sur de Bogotá.

No ano de 2008 ingressou como bolsista do convênio PEC-PG no curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em entomologia da Universidade Federal de Viçosa, sob a orientação do Dr. Raul Narciso Carvalho Guedes, sendo aprovada aos 26 dias de fevereiro de 2010.

## ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	05
2.1 Populações de <i>Sitophilus zeamais</i> .....	05
2.2 Bioensaio respirométrico .....	07
2.3 Bioensaios comportamentais .....	07
2.3.1 Caminhamento .....	09
2.3.2 Desvirar .....	09
2.3.3 Tanatose ou fingimento de morto .....	10
2.3.4 Interação inter e intraespecífica .....	10
2.3.5 Vôo .....	11
2.4 Bioensaios de sobrevivência .....	12
2.5 Análises estatísticas .....	13
3. RESULTADOS.....	15
3.1 Bioensaios de sobrevivência .....	15
3.2 Bioensaios comportamentais .....	17
3.3 Relação comportamento e sobrevivência .....	20
4. DISCUSSÃO.....	24
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

## RESUMO

Monje, Juliana Andrea Morales, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Carunchos VS Inseticidas: Individualidade importa?** Orientador: Raul Narciso Carvalho Guedes. Co-orientadores: Terezinha Maria Castro Della Lucia e Eliseu José Guedes Pereira.

O comportamento é a expressão das interações de um organismo com os estímulos ambientais. Embora os estudos do comportamento sejam feitos em nível individual, as conclusões são aplicadas para as populações. A importância do comportamento em nível individual tem sido estudada em vários grupos de animais, como primatas, mamíferos e insetos. A partir desses resultados, as diferenças individuais de comportamento consistentes no tempo e em diferentes contextos, são chamadas de “personalidade animal”. Diferenças comportamentais individuais podem ser favorecidas se contribuírem em diferenças de produtividade e adaptabilidade. Os inseticidas constituem um fator de estresse ambiental para os indivíduos no ambiente natural, estes podem afetar o comportamento dos insetos estimulando ou inibindo sua atividade. Uma nova proposta para avaliar o efeito dos inseticidas em pragas é feita neste trabalho que teve como objetivo avaliar respostas comportamentais individuais em *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), e detectar uma possível correlação destas com o tempo de sobrevivência em ambientes tratados com o inseticida deltametrina. Foram avaliados também parâmetros fisiológicos que poderiam influenciar na sobrevivência em ambientes contaminados. Por meio dos comportamentos avaliados, foi comprovada a existência da individualidade nos insetos das 15 populações brasileiras testadas. Essa individualidade comportamental influenciou diretamente nos tempos de sobrevivência dos indivíduos testados. Verificou-se também diferença de sobrevivência entre as populações, que foi atribuída a diferenças em mecanismos de resistência apresentados entre elas. São discutidas as possíveis implicações ecológicas, evolutivas e toxicológicas da personalidade animal com os tempos de sobrevivência a inseticidas.



## ABSTRACT

Monje, Juliana Andrea Morales, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february 2010. **Maize weevils VS insecticides: does individuality matters?** Advisor: Raul Narciso Carvalho Guedes. Co-advisors: Terezinha Maria Castro Della Lucia and Eliseu José Guedes Pereira.

Behavior is the expression of an organism's interactions with the environmental stimulus. Even though behavioral studies are done in an individual level, the conclusions are drawn for populations. The importance of an individual's behavior have been studied on several animal groups, a few examples are: primates, mammals and insects. From these results, the consistent individual behavior differences in time and in different contexts are called "animal personality". Consistent individual differences in animal traits can be favored if they contribute to differences in productivity and adaptation. The insecticides are an environmental stress factor for the individuals in their natural environment; they can affect the insect behavior by stimulating or inhibiting their activity. A new proposal for evaluating the effect of insecticides in pests is made in this work wich purpose was to evaluate the individual behavioral responses in *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) and to detect a possible correlation with the survival time in treated deltamethrin environments. Some physiological traits that could influence survival times were evaluated as well. Through the tested behaviors, it was proven the existence of individuality on the insects belonging to the 15 brazilian populations used. This behavioral individuality had a direct influence on the insects' survival times. It was also confirmed difference in survival between populations which was attributed to differences in the resistance mechanisms they have. The possible ecological, evolutive and toxicological implications of animal personality and survival times to insecticides are discussed.

## 1. INTRODUÇÃO

O comportamento é o produto das interações de um organismo com seu ambiente externo. Este representa a integração dos processos e mecanismos fisiológicos com os estímulos ambientais que os desencadeiam (Grue *et al* 2002). Os processos internos que formam as bases mecânicas do comportamento podem se dividir em cinco componentes: tomada de decisões, restrições psicofísicas, desenvolvimento, neurobiologia e processos hormonais. A tomada de decisões e as restrições psicofísicas são os precursores mais imediatos de uma resposta comportamental. As três categorias restantes: desenvolvimento; neurobiologia e processos hormonais são processos fisiológicos com bases celulares e moleculares. As conseqüências ecológicas desses processos internos pertencem a quatro categorias: alimentação, interações interespecíficas, organização social, e acasalamento, sendo a última o nível em que age a seleção natural (Real 1994).

A base da ecologia comportamental são os estudos feitos em nível individual. As conclusões desses estudos são extrapoladas para os níveis seguintes de complexidade ecológica: o nível populacional e o de comunidades. “Todos os fenômenos ecológicos e os padrões de organização de comunidades podem ser vistos como conseqüências imediatas de comportamentos e ações individuais” (Real 1994). Embora esse fluxo de idéias seja o adotado por vários ramos da biologia, os estudos do comportamento individual têm uma importância *per se*. Como os humanos, os animais também apresentam diferenças de comportamento entre os indivíduos. Os estudos neste nível introduzem diferenças do comportamento animal fazendo um paralelo com a personalidade humana. Assim, as diferenças de individualidade em humanos são chamadas em personalidade, enquanto as diferenças em animais não humanos têm recebido vários nomes, entre eles: estilos de vida, tendências comportamentais, estratégias, síndromes, eixos ou construções.

O termo “diferenças de personalidade” referindo-se às diferenças comportamentais individuais, consistentes no tempo e em diferentes contextos para animais humanos e não humanos, foi usado por Dall *et al* (2004). Palavras equivalentes como personalidade, temperamento ou individualidade (Réale *et al* 2007) são definidas como o estilo característico da resposta emocional e

comportamental de um indivíduo em uma variedade de situações. É também definida como a posição que um indivíduo toma frente a uma situação em um determinado tempo (Box 1999). Essas diferenças do comportamento entre os indivíduos de uma mesma população são referidas como características de personalidade animal e são definidas como tendências comportamentais que afetam o comportamento em diferentes contextos.

Tendências comportamentais variam entre os indivíduos de uma dada população e são consistentes entre os indivíduos ao longo do tempo (Biro e Stamps 2008). É importante definir cada característica do temperamento animal de acordo com a situação ecológica em que esta é medida. Reale *et al* (2007) propõem cinco categorias para classificar os traços da personalidade animal, sendo estas: (1) timidez – ousadia, a reação de um indivíduo a qualquer situação de risco, mas não em situações novas; (2) explorar – evitar, a reação de um indivíduo a uma situação nova; (3) atividade, o nível geral de atividade de um indivíduo; (4) agressividade, a reação agonística frente a indivíduos da mesma espécie e (5) sociabilidade, a reação de um indivíduo à presença ou ausência de indivíduos da mesma espécie – excluindo o comportamento agressivo. Essa classificação pode ser feita mais simplificada tomando em conta somente três categorias: ousadia, atividade e agressividade. Essas três características junto com informações a respeito da história de vida dos animais estão interligadas e influenciam na produtividade deles (crescimento e reprodução) (Biro e Stamps 2008). Quando se apresentam correlações entre as características de personalidade animal, estas são ditas síndromes comportamentais. Uma síndrome comportamental é um conjunto de comportamentos que manifestam consistência individual no comportamento através de múltiplas (duas ou mais) situações. Isso demonstra que as características correlacionadas deveriam ser estudadas conjuntamente, ao invés de serem estudadas como unidades isoladas (Sih *et al* 2004).

Os insetos representam um grande problema para os grãos armazenados em todo o mundo. No Brasil as perdas estimadas são de aproximadamente 10% a cada ano (Lorini e Schneider 1994). As principais pragas relatadas como responsáveis por perdas em grãos armazenados são: *Sitophilus zeamais*, *Sitophilus oryzae*, *Tribolium castaneum* e *Rhyzopertha dominica*. Entre estes, o caruncho do milho, *S. zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae), está entre as pragas mais destrutivas e

mundialmente bem distribuídas (Rees 1996). Esta espécie é cosmopolita e particularmente abundante em regiões tropicais e subtropicais, condições predominantes no Brasil onde é a principal praga do milho armazenado, apesar de incidir e ser considerada importante em cereais armazenados de modo geral (Rossetto 1969, Rees 1996, Adda *et al* 2002, Danho *et al* 2002). Infestações pelo caruncho do milho freqüentemente se iniciam no campo, antes do armazenamento (Adda *et al* 2002, Browm e Lee 2002), o que aliado a sua boa capacidade de vôo (Hagstrum *et al* 1996) e poder destrutivo acarretam elevadas perdas na fase pós-colheita de grãos (Santos *et al* 1986, Santos e Montovani 1997).

O principal método de controle dessa espécie é através do uso de inseticidas, pois usualmente é este o método de controle mais simples, rápido e econômico para conter infestações de pragas de produtos armazenados. Em áreas tropicais o problema é maior, devido à falta de outros métodos alternativos de controle e o efeito mínimo do inverno em reduzir populações desta espécie (Guedes 1990 e 1991; Guedes *et al* 1996; White e Leesch 1996). O uso freqüente de inseticidas na proteção de grãos armazenados contra insetos praga resultou no desenvolvimento da resistência a estes compostos devido a isso falhas no controle têm sido observadas em vários países (Champ e Dyte 1976, Badmin 1990, Guedes 1991, Subramanyam e Hagstrum 1996), incluindo o Brasil (Guedes *et al* 1994, 1995 e 1996, Ribeiro *et al* 2003).

São vários os fatores que afetam o comportamento dos insetos de produtos armazenados. Eles podem ser classificados em fatores físicos, bióticos e químicos. Entre os últimos, a presença de inseticidas pode afetar o comportamento associado com o movimento e a distribuição dos besouros na massa de grãos (Cox e Collins 2002). Outras alterações comportamentais provocadas por poluentes podem reduzir a sobrevivência e o sucesso reprodutivo (Grue *et al* 2002). O contexto ecológico é fundamental para que essas alterações e conseqüentes resultados aconteçam. Entende-se por contexto ecológico os fatores intrínsecos e extrínsecos responsáveis pelos níveis das alterações comportamentais. Entre os fatores intrínsecos estão: susceptibilidade inerente, exposição ao poluente, tolerância-resistência e plasticidade comportamental. Os fatores extrínsecos são: magnitude à exposição química,

interações químicas, disponibilidade de recursos, interações inter e intraespecíficas e condições ambientais (Grue *et al* 2002).

As diferenças comportamentais entre os indivíduos serão favorecidas se contribuirão para gerar diferenças de produtividade (crescimento e reprodução) entre os indivíduos (Biro e Stamps 2008). Sendo este o caso, insetos de grãos armazenados como *S. zeamais*, de uma mesma população (histórias de vida semelhantes) ou de diferentes populações (histórias de vida diferentes), que expressarem diferenças em características comportamentais teriam maior probabilidade de sobrevivência em ambientes desfavoráveis, como por exemplo contaminados com inseticidas. Essas diferenças nas características de personalidade seriam favorecidas, permanecendo e contribuindo para possíveis adaptações nestas populações.

Existem estudos sobre a personalidade dos animais que estão baseados na integração das implicações ecológicas e evolutivas (Dall *et al* 2004, Sih *et al* 2004, Réale *et al* 2007, Stamps 2007, Wolf *et al* 2007, Biro e Stamps 2008). Por meio de outros estudos se sabe que os poluentes alteram o comportamento e reduzem a sobrevivência nos animais (Cox e Collins 2002, Grue *et al* 2002). Outros estudos concluem que falhas no controle de pragas de produtos armazenados podem ser atribuídas a uma ampla faixa de fatores incluindo a atividade dos insetos (Cox *et al* 1997). No entanto, são inexistentes trabalhos com insetos correlacionando comportamentos individuais com sobrevivência em ambientes tratados com inseticidas. Partindo do fato de que os indivíduos manifestam distintos comportamentos em resposta a diferentes contextos ou situações, objetivou-se aqui avaliar se diferenças em individualidade podem influenciar na sobrevivência em ambientes tratados com inseticida.

Mais especificamente, o presente trabalho teve como objetivo avaliar se as variações individuais de comportamento em *S. zeamais* de distintas populações influenciam no tempo de sobrevivência frente à exposição a inseticidas. Essas variações foram enquadradas em três categorias comportamentais –atividade motora, explorar-evitar e “ousadia-timidez”. Foram avaliadas também características fisiológicas responsáveis pelo metabolismo energético em indivíduos de *S. zeamais* com o intuito de prover evidência de uma possível relação destes com o comportamento e o tempo de sobrevivência.

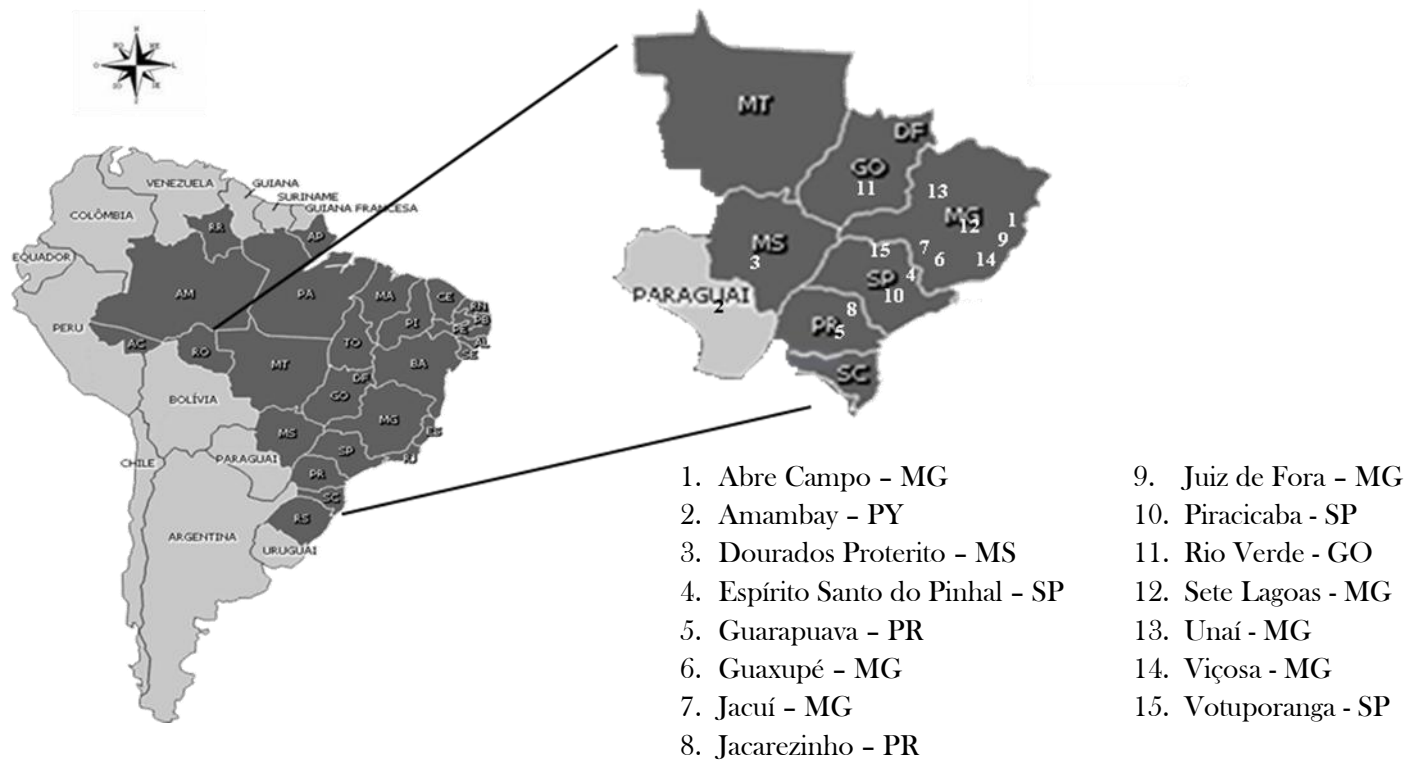
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Populações de *Sitophilus zeamais*

Quinze populações de *S. zeamais* provenientes de diferentes cidades brasileiras e uma do Paraguai foram utilizadas nos ensaios experimentais. As populações foram coletadas, em sua maioria, nos últimos quatro anos nos estados brasileiros de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo e na região de Arroyo Jambure do Amambay no Paraguai (Figura 1). As populações de Jacarezinho –PR e Juiz de Fora –MG são derivadas de populações coletadas respectivamente no final da década de 80 e em 1990 em armazéns desses municípios.

As populações foram multiplicadas a partir dos insetos contidos nas amostras coletadas em campo e mantidas em recipientes de vidro (1,5 L), dentro de câmaras climáticas tipo B.O.D., sob condições controladas de temperatura ( $27 \pm 2^\circ\text{C}$ ), umidade relativa ( $70 \pm 10\%$ ) e fotoperíodo (LD 12:12). O substrato utilizado para manutenção das populações foi milho isento de pragas e inseticidas.

Os insetos adultos usados nos experimentos foram padronizados pela idade para igualar as condições de expressão dos comportamentos; dessa maneira, foram usados insetos de um a três dias de emergência. Logo após a separação dos insetos jovens, eles foram sexados e pesados. A separação por sexos foi realizada pela observação da textura e perfurações do rostro, como proposto por Tolpo e Morrison (1965). Posteriormente foram pesados em balança analítica (Sartorius BP 210D), individualizados, marcados e mantidos em frascos de plástico de 20 mL marcados que continham vários grãos de milho. Foram usadas 21 fêmeas e 21 machos de cada uma das quinze populações em todos os bioensaios comportamentais e respirométricos, além do bioensaio de sobrevivência. Assim, no final obteve-se um conjunto dos atributos comportamentais, fisiológicos e de sobrevivência observados para cada indivíduo.



**Figura 1.** Locais de coleta de *Sitophilus zeamais* Mots. (Coleoptera: Curculionidade) nos estados brasileiros e Paraguai.

## 2.2 Bioensaio respirométrico

O ensaio de respirometria foi realizado em condições de laboratório utilizando-se um respirômetro do tipo TR3C equipado com analisador de CO<sub>2</sub> (Sable System International, Las Vegas, EUA) e metodologia adaptada de Guedes *et al* (2006). Cada um dos insetos foi individualmente acondicionado em câmaras de 25 mL. Estas câmaras foram conectadas a um sistema completamente fechado, onde o CO<sub>2</sub> produzido pelos insetos ( $\mu\text{L}$  de CO<sub>2</sub> / hora) é varrido por um fluxo de ar isento de CO<sub>2</sub> e mensurado por um leitor infravermelho de CO<sub>2</sub> conectado ao sistema. A metodologia de acondicionamento foi adaptada, neste trabalho, para determinação em insetos individualizados. Desta maneira, foi preciso deixar o CO<sub>2</sub> produzido se acumular nas câmaras durante mais tempo (3 horas) para obter resultados coerentes.

## 2.2 Bioensaios comportamentais

A classificação dos bioensaios comportamentais avaliados para determinar a variação individual nos 630 indivíduos testados, é mostrada a seguir na Tabela 1. Essa classificação está baseada na classificação proposta por Reále *et al* (2007).

Os bioensaios experimentais para avaliar os comportamentos foram realizados em laboratório com condições de temperatura, umidade relativa e luminosidade controlada, entre as nove e as 18 horas.



**Tabela 1.** Classificação, principais funções ecológicas, técnicas utilizadas e variáveis testadas para cada um dos bioensaios comportamentais avaliados em populações brasileiras de *S. zeamais*.

Categoria	Bioensaio	Função ecológica	Técnica utilizada	Variáveis avaliadas
Atividade motora	Caminhamento	Dispersão	Arenas de caminhada usando a vídeo-gravação com sistema ViewPoint	Distância Tempo Velocidade Número de paradas
	Vôo	Dispersão	Queda livre  Moinho	Maior distância  Número de vezes que batia as asas
	Desvirar	Desvirar	Inseto sobre eixo dorsal obrigado a desvirar	Tempo médio para desvirar
Explorar-evitar	Interação inter e intraespecífica	Procura de alimento, de parceiro, de refúgio, competição.	Arenas com grãos ocupados por <i>Sitophilus</i> ou <i>Rhyzopertha</i>	Tempo que tardava em chegar ao grão.
“Ousadia-timidez”	Fingimento de morto	Defesa contra predadores	Simulação do predador	Maior tempo de fingimento de morto

### 2.2.1 Caminhamento

O primeiro da série de bioensaios comportamentais foi a medição de parâmetros da atividade motora por meio do caminhamento. Esse bioensaio foi realizado com cada um dos 42 insetos de cada população depois de terem passado pelo respirômetro. Os indivíduos foram levados a arenas conectadas a um sistema de rastreamento formado por uma câmera de vídeo acoplada a um computador (ViewPoint Life Sciences Inc., Montreal – Canadá) por um período de 10 minutos.

As arenas foram confeccionadas em placas de Petri com nove centímetros de diâmetro e dois centímetros de altura. O fundo das arenas foi recoberto com discos de papel-filtro. As paredes internas das placas foram revestidas com teflon e as placas completas foram cobertas com um filme plástico para evitar o escape dos insetos seja por caminhamento ou vôo. As características avaliadas foram distância percorrida, tempo em movimento, velocidade média de caminhamento e número de paradas na arena. Os testes foram realizados em sala com iluminação artificial cuja temperatura média foi de  $25 \pm 3$  °C, das 9 às 18 horas.

### 2.2.2 Desvirar

O comportamento de desvirar quando um inseto está sobre seu eixo dorsal foi observado nos 630 insetos avaliados no ensaio experimental. Com a ponta de um pincel os insetos foram virados em posição dorsal em contato com a arena. Com um cronômetro foi medido o tempo gasto em desvirar. Esse procedimento foi repetido três vezes com cada inseto e o tempo médio (segundos) foi usado nas análises estatísticas.

### 2.2.3 Tanatose ou fingimento de morto

Os insetos apresentam várias estratégias para a defesa contra predadores. Entre elas estão o comportamento de vôo e o comportamento de fingimento de morto ou tanatose. Esse parâmetro comportamental foi observado nas 21 fêmeas e nos 21 machos das quinze populações avaliadas. O comportamento de fingimento de morto foi induzido com o toque no dorso do inseto com um pincel fino. O ensaio consistiu na medição do tempo de duração do comportamento com um cronômetro. O comportamento medido começava a partir do momento em que o inseto apresentasse a posição característica da tanatose. Esta posição é reconhecida pelo recolhimento das pernas e a imobilidade o que coincidia com o toque do pincel. A observação do comportamento terminava com o primeiro movimento visível. Esse procedimento foi repetido três vezes com cada indivíduo e o maior tempo de duração do comportamento foi usado nas análises estatísticas. Quando o inseto não apresentava o comportamento em nenhuma das três tentativas, era marcado como um indivíduo sem resposta.

### 2.2.4 Interação inter e intraespecífica

O comportamento apresentado pelos indivíduos de *S. zeamais* quando colocados em arenas com um grão de milho ocupado por um indivíduo da mesma espécie, ou de outra espécie (*Rhyzopertha Dominica* Coleoptera: Bostrichidae) foi observado nos 42 insetos de cada população. As arenas foram confeccionadas em placas de Petri de 18 centímetros de diâmetro e dois centímetros de altura. As paredes internas da placa foram recobertas com teflon para evitar o escape dos insetos. O fundo das placas foi recoberto por um círculo de papel milimetrado do mesmo diâmetro. Foi desenhado um círculo de um centímetro de diâmetro, no centro do papel. No círculo foi colocado o grão de milho ocupado por um adulto de *S. zeamais* para a

interação intraespecífica ou por um adulto de *R. dominica* para a interação interespecífica.

Um ensaio consistia em posicionar um adulto de *S. zeamais* em um dos extremos da placa e observar durante 15 minutos a distância ao grão que era atingida. O ensaio finalizava quando o indivíduo avaliado atingia o grão de milho ou terminava o tempo de observação. Se não houvesse deslocamento até o grão por parte do indivíduo testado, este era registrado como um indivíduo sem resposta. Os dados usados nas análises estatísticas foram os tempos de chegada ao grão de milho. O valor inserido na planilha de dados quando o inseto não chegava ao grão foi 16, correspondente a um tempo maior do que o tempo de observação.

#### 2.2.5 Vôo

A capacidade e a autonomia de vôo dos 630 indivíduos de *S. zeamais* avaliados durante todo o experimento foram ainda estudadas. Foram escolhidas duas metodologias para testar o vôo: a técnica de “queda livre” e o “moinho de vôo”.

A técnica de “queda livre” foi adaptada de Ohno e Miyatake (2007). Essa técnica consistiu em soltar um indivíduo do centro superior de uma caixa e registrar a distância dessa queda. A caixa tinha dimensões de 88 x 44 x 44 centímetros. Os pilares da caixa eram de madeira e as laterais recobertas de organza. O topo da caixa foi recoberto por uma lâmina de transparência com um furo (5 milímetros de diâmetro) localizado no centro desta. O fundo da caixa foi coberto com um papel com as mesmas dimensões de tamanho. Sobre esse papel foram desenhados círculos concêntricos separados por três centímetros de distância cada. Assim, o ponto central representava a distância zero; o primeiro círculo a distância três o seguinte a seis e, assim, até o último círculo que representava a distância de 18 centímetros desde o centro.

O ensaio consistiu em pegar o inseto com uma pinça e soltá-lo do topo da caixa pelo furo feito na transparência. Os dados foram coletados da seguinte maneira: se um inseto não batia as asas e, portanto não voava se afastando do centro, a distância de vôo desse indivíduo era registrada como zero. Se o inseto batia as asas e voava caindo numa distância do centro qualquer, essa distância era registrada. Se o inseto voava e pousava nas laterais da caixa, era registrada a maior distância de vôo determinada como valor 22 centímetros. Esse procedimento foi repetido três vezes e a maior distância de vôo foi o dado usado nas análises estatísticas.

A segunda técnica utilizada para medir a autonomia de vôo foi o “moinho de vôo”. O moinho e a metodologia do bioensaio foram adaptados de Riley *et al* (1997), consistindo em pendurar o inseto em um extremo de uma haste transparente, e observar os movimentos dele durante dez minutos. Assim, o número de vezes que o inseto batia as asas sem voar, foi contado.

### 2.3 Bioensaios de sobrevivência

O inseticida utilizado foi o piretróide deltametrina (K-Obiol 25CE Bayer Crop Science Ltd., São Paulo –SP). A dose usada nos experimentos foi de 20mL/ton, que está dentro da faixa de doses comercialmente recomendada e registrada para o produto (14 – 80mL/ton; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009)

O procedimento de aplicação do inseticida foi feito sobre 500 gramas de milho. Utilizou-se uma solução de 10 µL do produto comercial em 1 mL de água destilada. Essa solução foi aplicada sobre a massa de grãos numa bandeja usando-se aerógrafo, (agulha de 0,25mm) acoplado a uma bomba de vácuo (Prismatec Modelo 131 A Tipo 2VC, Itu –SP). A aplicação foi feita dentro de capela de exaustão e a seguir os grãos de milho foram deixados secando por uma hora antes de montar as unidades experimentais.

Para cada bioensaio de sobrevivência foram preparados 42 frascos cilíndricos de vidro (25 mL) com 15 gramas aproximadamente de grãos de

milho tratados com o inseticida. Os vidros foram cheios com esses grãos de milho tratado, deixando-se um espaço de 1,5 cm entre os grãos e a borda. Logo após, os insetos individualizados foram colocados dentro destes frascos. Para evitar o escape dos mesmos, os vidros foram tampados por um pedaço de organza amarrada com um elástico.

Foram feitas determinações sobre o estado do indivíduo de acordo com os seguintes parâmetros: o inseto foi considerado “afetado” quando seus movimentos corporais saíam dos padrões normais de caminamento. Quando não conseguia se movimentar por mais de dois passos depois de ser tocado com a ponta de um pincel, foi usada a terminologia “não anda”. Por último o inseto foi considerado “morto” quando não respondia ao toque com a ponta do pincel.

As avaliações foram feitas em intervalos de uma hora a partir do momento em que o inseto era colocado no vidro e depois das primeiras doze horas em intervalos de 4 em 4 horas até completar 30 dias ou 720 horas. O ensaio foi finalizado quando o inseto morria ou quando terminava o tempo de observação.

#### 2.4 Análises estatísticas

As curvas de sobrevivência foram obtidas usando os estimadores Kaplan-Meier (1958) gerados a partir do número de insetos sobreviventes à exposição inseticida em avaliações de tempo sequenciais até a conclusão do experimento, utilizando o procedimento LIFETEST do SAS (SAS Institute, 2000). Os insetos sobreviventes até o final do experimento (30 dias, ou 720 horas) foram tratados como dados censurados. As curvas de sobrevivência de cada sexo e população foram comparadas usando modelo de regressão de Cox para testar o efeito dessas variáveis (procedimento PHREG; SAS Institute 2000).

As variáveis comportamentais foram submetidas à análise de variância multivariada, para verificar a existência de diferenças significativas entre os sexos e as populações, e à análise de variáveis canônicas (CVA) para reconhecer tais diferenças e quais as variáveis que mais contribuem para elas.

Em tais análises utilizou-se o procedimento CANDISC do SAS (SAS Institute 2000). As variáveis comportamentais foram também submetidas à análise de variância modificada como proposto por Excoffier *et al* (1992), buscando hierarquização da variância para determinar a contribuição relativa de indivíduo e população na composição da variância total observada. Subsequentemente, as variáveis comportamentais foram sujeitas a análise de regressão múltipla tendo o tempo de sobrevivência como variável dependente, buscando evidenciar as variáveis que mais contribuíram para a sobrevivência em superfície tratada com deltametrina. O procedimento GLM do SAS, com as rotinas STEPWISE e BACKWARD, foi usado na modelagem da regressão múltipla (SAS Institute 2000).

Finalmente, os dados da taxa respiratória e massa, junto com os dados comportamentais com maior potencial para explicar a sobrevivência à deltametrina mostrado por cada indivíduo testado, foram submetidos a uma análise de trilha com o objetivo de identificar e quantificar as interações diretas e indiretas entre estas variáveis. As interações foram representadas por coeficientes de correlação, que quantificam as interações entre as variáveis independentes, e coeficientes de regressão, responsáveis por quantificar o efeito direto na variável resposta. As análises foram realizadas usando os procedimentos REG e CALIS (SAS Institute, 2000), seguindo os passos descritos por Mitchell (1993).

Os dados referentes ao batimento de asas no comportamento de vôo, não satisfizeram aos pressupostos de homogeneidade de variância e de normalidade, sendo necessário fazer a transformação LOG (x+1).

### 3. Resultados

#### 3.1 Bioensaios de Sobrevivência

O modelo de regressão de Cox indicou efeito significativo de populações nas curvas de sobrevivência ( $\chi^2 = 32,68$ ;  $P < 0.001$ ), mas o efeito de sexo não foi significativo ( $\chi^2 = 0.19$ ;  $P < 0.66$ ). Assim, apenas curvas de sobrevivência para cada população, independente do sexo (i.e., os dados de ambos os sexos foram agrupados na análise) foram estimadas usando estimadores Kaplan-Meier possibilitando a estimativa dos tempos médios de sobrevivência (TL<sub>50</sub>) para cada população (Tabela 1).

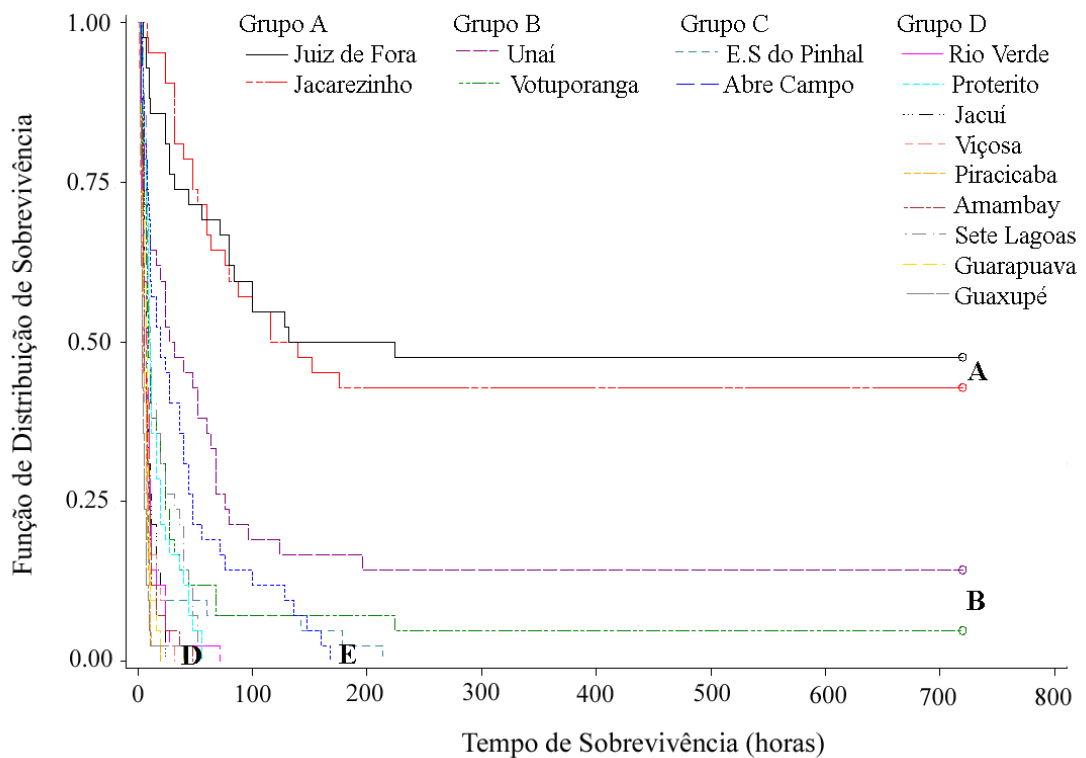
A maioria das populações avaliadas mostrou tempos de mortalidade curtos, menores que 12 horas (Figura 2). Quatro padrões de sobrevivência foram observados, representando quatro grupos de respostas. O primeiro grupo, representado pelas populações de Jacarezinho e Juiz de Fora, mostrou maior resistência à deltametrina com sobrevivência superior a 40% ao final do experimento e TL<sub>50</sub> de 128 e 178 horas, respectivamente. O segundo grupo, representado pelas populações de Votuporanga e Unaí, foi também resistente a deltametrina, mas com sobrevivência entre 10 e 20% ao final do experimento (TL<sub>50</sub> de 9 e 30 horas, respectivamente). O terceiro grupo, formado pelas populações de Espírito Santo do Pinhal e Abre Campo, foi eliminado com a exposição à deltametrina, mas esta eliminação aconteceu de forma mais lenta que nas demais populações onde a mortalidade de 100% foi atingida em menos de 300 horas de exposição. As demais populações apresentaram 100% de mortalidade em menos de 100 horas de exposição.



**Tabela 2.** Tempo médio de sobrevivência (TL<sub>50</sub>) de 15 populações de *S. zeamais*.

População	N <sup>1</sup>	TL <sub>50</sub> (IC 95%) h	População	N <sup>1</sup>	TL <sub>50</sub> (IC 95%) h
Guaxupé	42	4 (3 - 6)	Votuporanga	40	9 (7 - 20)
Viçosa	42	5 (4 - 8)	Dourados – Proterito	42	10,5 (9 – 16)
Amambay	42	6 (5 – 8)	Sete Lagoas	42	11 (8 – 20)
Piracicaba	42	6 (5 - 7)	Abre Campo	42	20 (11 - 40)
Espírito Santo do Pinhal	42	7 (6 - 9)	Unaí	36	30 (11 – 64)
Rio Verde	42	7,5 (5 – 10)	Jacarezinho	24	128 (64 - .)
Jacuí	42	8 (6 - 9)	Juiz de Fora	22	178 (80 - .)
Guarapuava	42	8 (6 – 9)			

<sup>1</sup>N = Número total de insetos avaliados; IC 95% = Intervalo de confiança a 95% de probabilidade. \* Valores que foram subestimados devido ao número de dados censurados.



**Figura 2.** Curvas de sobrevivência estimadas pelo modelo Kaplan-Meier para as 15 populações de *S. zeamais*.

### 3.2 Bioensaios comportamentais

Os resultados da análise de variância multivariada para os comportamentos avaliados indicaram diferenças significativas entre as populações (Wilk's  $\lambda=0.25$ ;  $F=3.08$ ;  $df_{(num/den)}=290/5628,5$ ;  $p<0.0001$ ). A análise de variáveis canônicas (CVA) gerou cinco eixos de ordenação significativos ( $p < 0.05$ ; Tabela 3) explicando 80% da variância total. Os maiores valores absolutos dos coeficientes mostram quais foram os comportamentos que mais contribuíram para o padrão de divergência entre as populações. Estes comportamentos foram: o tempo para desvirar, o tempo de fingimento de morto, a distância da queda, o número de paradas na arena de caminhada e a interação interespecífica (Tabela 3).

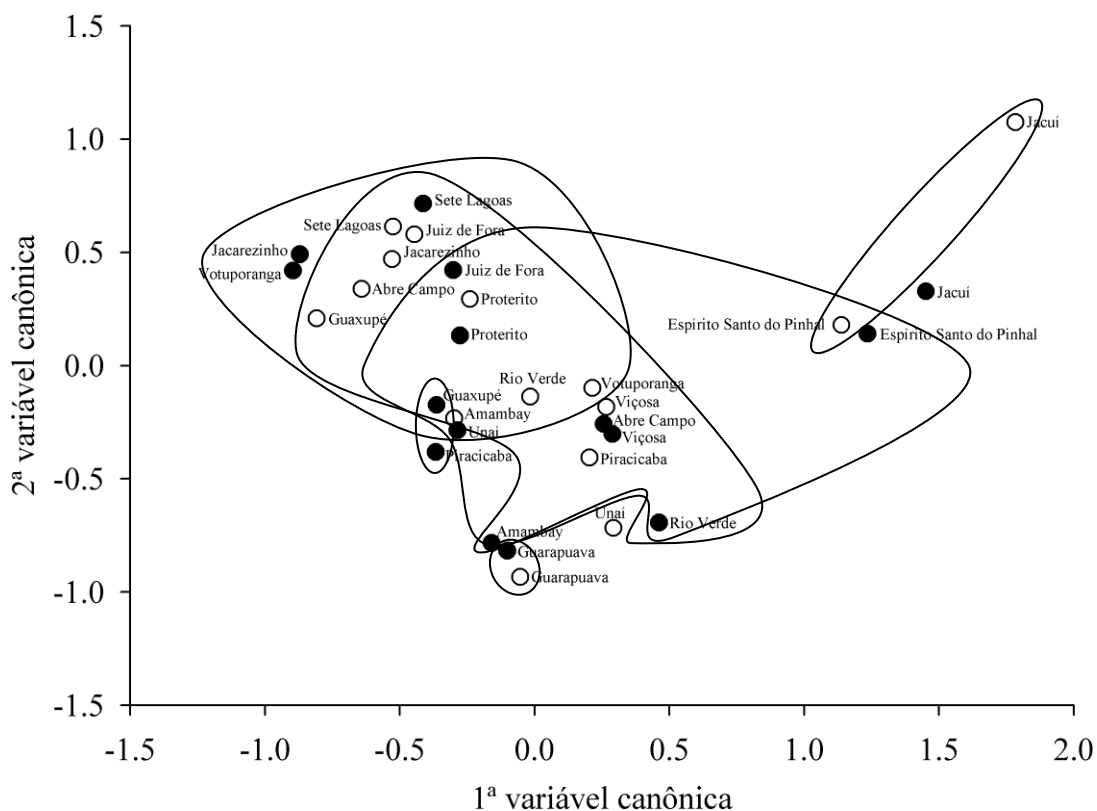
A divergência comportamental entre as populações está graficamente representada na Figura 3. Este diagrama mostra a dispersão das populações (e sexo), que se agruparam em seis grupos. Três destes grupos foram pequenos, com duas

populações cada. O primeiro foi formado pelas fêmeas de Jacuí e as fêmeas de Espírito Santo do Pinhal. O segundo grupo foi formado pelos machos de Piracicaba e os machos de Guaxupé. O terceiro foi formado pelos machos e fêmeas da população de Guarapuava e este ficou isolado do resto. Os outros três grupos englobaram todas as populações exceto uma. Os machos de Jacuí e as fêmeas de Unai não apresentaram agrupamento com nenhuma das outras populações.

Apesar da divergência entre populações e sexo obtida com a análise de variáveis canônicas, a análise de variância modificada proposta por Excoffier *et al.* (1992) permitiu a hierarquização da variância total observada nos dados comportamentais. A variação dentro das populações (i.e. entre indivíduos dentro das populações) foi substancialmente maior (92.57%) do que a variação entre as populações (7.43%). Esse resultado salienta a importância da variação individual em relação à variação populacional, priorizando assim a individualidade nos comportamentos avaliados neste experimento.

**Tabela 3.** Eixos canônicos e coeficientes (agrupados na estrutura canônica) de parâmetros comportamentais avaliados em 15 populações de *S. zeamais*

Comportamentos	Variáveis	Eixos canônicos				
		1	2	3	4	5
Caminhamento	Distância	-0,39	0,25	-0,42	0,51	0,13
	Tempo	0,02	0,47	-0,49	0,56	0,17
	Velocidade	-0,63	0,11	-0,25	0,43	0,01
	Número de paradas	0,36	0,15	0,05	-0,80	0,17
Queda livre	Maior distância	0,18	0,17	0,71	0,41	-0,12
Tanatose	Maior tempo	0,43	0,63	-0,21	-0,06	-0,29
Desvirar	Tempo médio	0,84	0,37	0,02	0,11	-0,28
Interações	Intraespecífica	-0,40	0,25	0,38	0,12	0,28
	Interespecífica	0,33	-0,14	-0,12	0,27	0,78
Vôo	Número de vezes que bate as asas	-0,38	0,60	0,43	-0,25	0,23
	F	3,08	2,56	2,59	2,07	1,81
	Graus de liberdade (num.; den.)	290; 5628,5	252; 5108,1	216; 4578,9	182; 4040,4	150; 3492,3
	P	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Correlação canônica ao quadrado	0,31	0,21	0,17	0,15	0,13



**Figura 3.** Diagrama de ordenação mostrando a discriminação entre populações de *S. zeamais* quanto a parâmetros comportamentais. Os símbolos  $\circ$  representam as fêmeas e os  $\bullet$  representam os machos de cada população. Esses símbolos são centróides de tratamentos e representam a média das classes de variáveis canônicas. Círculos largos indicam grupos de tratamentos sem diferença significativa entre eles (teste de F aproximado,  $P < 0,05$ ), baseada na distância de Mahalanobis ( $D_2$ ) entre médias.

### 3.3 Relação comportamento e sobrevivência

A análise de regressão múltipla para o tempo de sobrevivência de cada indivíduo em função dos comportamentos individualizados permitiu reconhecer os comportamentos que mais contribuíram para explicar a variação em sobrevivência dos 630 indivíduos avaliados. Nesta análise, os resultados de distância caminhada e velocidade de caminhada não foram incluídos no modelo por mostrarem alta correlação com o tempo de caminhada, aumentando a variância dos modelos de regressão múltipla. Assim, dessas variáveis apenas o tempo de caminhada foi

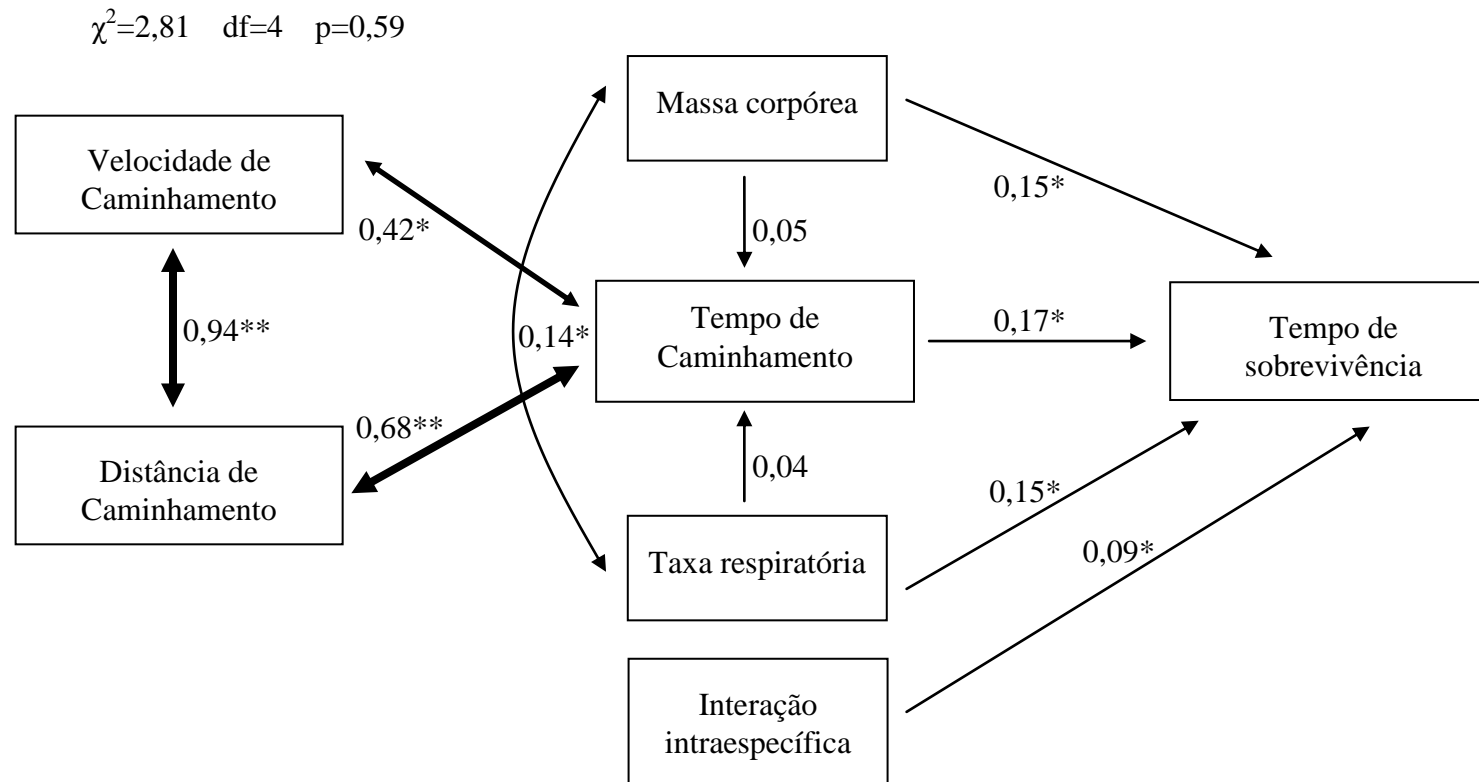
considerado. Ambos os procedimentos de construção de modelo (inclusão paulatina de variáveis, e remoção paulatina de variáveis) proveram resultados idênticos indicando efeito significativo na sobrevivência para o tempo de caminhada ( $F=19,30$  e  $p<0,0001$ ) e a interação intraespecífica ( $F=5,80$  e  $p=0,0163$ ).

As variáveis tempo de caminhada e interação intraespecífica, reconhecidas na regressão múltipla como as de maior efeito na sobrevivência, além das variáveis comportamentais relacionadas (i.e., distância e velocidade de caminhada), foram combinadas em um modelo de trilha que incorporou ainda as variáveis fisiológicas massa corpórea e taxa respiratória, para explicar a sobrevivência à deltametrina observada. O diagrama de trilha foi gerado com o intuito de avaliar os possíveis efeitos diretos e indiretos dos parâmetros comportamentais de caminhada e dos parâmetros fisiológicos no tempo de sobrevivência dos indivíduos à exposição à deltametrina. O modelo, representado na Figura 4, foi significativo ( $\chi^2=2,81$ ;  $df=4$ ;  $p=0,59$ ).

As variáveis comportamentais (velocidade e distância de caminhada) se correlacionaram positiva e significativamente. A massa corpórea assim como a taxa respiratória apresentaram efeitos diretos e indiretos através do tempo de caminhada sobre o tempo de sobrevivência. Estes também apresentaram correlação positiva entre eles. O tempo de caminhada e a interação intraespecífica tiveram efeitos diretos, porém modestos, na sobrevivência à deltametrina (Tabela 4, Figura 4).

**Tabela 4.** Efeitos diretos (ED) indiretos (EI) e totais (ET) para o diagrama de trilha apresentado na Figura 4 para o modelo de efeitos sobre o tempo de sobrevivência em 15 populações de *S. zeamais*.

Variáveis	Tempo de caminhada			Tempo de sobrevivência (horas)		
	ED	EI	ET	ED	EI	ET
Massa corpórea	0,049	–	0,049	0,124	0,008	0,132
Taxa respiratória	0,029	–	0,029	0,124	0,005	0,129
Tempo de caminhada	–	–	–	0,161	–	0,161
Interação intraespecífica	–	–	–	0,090	–	0,090
R <sup>2</sup>		0,004			0,072	
P		0,315			<0,0001**	



**Figura 4.** Diagrama de trilha da influência da massa corpórea (mg / inseto), taxa respiratória ( $\mu\text{l}$  de  $\text{CO}_2$  / hora / inseto), interação intraespecífica e tempo de caminhada no tempo de sobrevivência de 15 populações de *S. zeamais*. Setas unidirecionais indicam interação casual (regressão) enquanto setas bidirecionais indicam correlação entre as variáveis. As linhas representam correlações positivas e o nível de significância é representado por asteriscos (\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ). A maior espessura da linha informa maior correlação entre as variáveis.



#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados do CVA e da análise de variância modificada de Excoffier, mostraram a variação comportamental em nível populacional e individual. Os comportamentos que responderam pela variação entre populações foram desvirar, fingimento de morto, vôo, paradas na arena de caminamento e a interação interespecífica. Esses comportamentos são, no geral, parâmetros que caracterizam a atividade dos insetos. Mais especificamente, desvirar, queda livre e paradas na arena são comportamentos que pertencem à categoria de atividade locomotora. A atividade locomotora é um fator chave da exposição de animais a inseticidas. O tempo de contato com o inseticida é determinado pelo deslocamento do indivíduo sobre o substrato contaminado. O tempo que um inseto passa virado sobre seu eixo dorsal influencia na quantidade de inseticida que penetra no seu organismo. O inseto que não consegue desvirar não poderá se deslocar e com isso reduzirá a superfície de contato com o inseticida. A distância de vôo (medida em queda livre) reflete a habilidade dos insetos de se dispersar e se afastar da fonte de inseticida. A distância caminhada pelos insetos está negativamente correlacionada com o número de paradas na arena de caminamento. As paradas na arena podem implicar na redução da locomoção e, portanto reduzir a exposição ao inseticida. Assim, as expressões desses comportamentos afetarão diretamente a magnitude da exposição dos insetos aos inseticidas e em consequência o tempo de sobrevivência deles em ambientes contaminados.

Além das implicações toxicológicas dos parâmetros de atividade locomotora, estes parâmetros também têm implicações ecológicas. Por exemplo, os comportamentos de vôo e fingimento de morto representam duas alternativas de reação para uma presa em presença de predadores (Ohno e Miyatake 2007). O comportamento de tanatose, por exemplo, apresenta variações herdáveis em diferenças de adaptabilidade em *Tribolium castaneum* (Miyatake *et al* 2004). O indivíduo que passar muito tempo virado sobre seu eixo dorsal estaria aumentando as chances de mortalidade por impedir locomoção e vôo, o que obviamente o impediria também de realizar atividades de alimentação e busca de parceiro. As paradas que um inseto faz quando está em um território “novo” são importantes para sua atividade de exploração desse território. As expressões do comportamento estão

diretamente relacionadas com os estímulos ambientais sobre as populações, resultando em conseqüências ecológicas que determinarão adaptabilidade dos indivíduos medida como sobrevivência e sucesso reprodutivo (Real 1994; Grue *et al* 2002).

A separação em quatro grupos de acordo com os tempos de sobrevivência nas populações pode ser causada por variação na resistência a inseticidas piretróides apresentada por essas populações. Os mecanismos de resistência a inseticidas podem ser classificados em três categorias: resistência fisiológica, bioquímica e comportamental (Georghiou 1972; Brattsten *et al* 1986). Resistência fisiológica foi observada em estudos anteriores para as populações de Juiz de Fora e Jacarezinho (Guedes *et al* 1995; Ribeiro *et al* 2003) e recentemente para a população de Votuporanga (Corrêa 2009). A resistência fisiológica pode ter contribuição comportamental, o que poderia explicar diferenças nos tempos de sobrevivência apresentados pelas populações. Existem várias aproximações à relação entre resistência fisiológica e comportamental. Pode se observar uma correlação negativa entre esses dois tipos de resistência (Georghiou 1972), positiva (Lockwood *et al* 1984), ou não ter correlação nenhuma e apresentar uma origem independente (Chareonviriyaphao *et al* 1997) resultado encontrado para essas populações específicas (Juiz de Fora, Jacarezinho e Sete Lagoas) por Guedes *et al* (2009).

Os comportamentos que variaram entre as populações não foram os mesmos comportamentos que variaram dentro das mesmas, portanto a relação comportamental com a variação em tempo de sobrevivência foi explicada por diferentes parâmetros comportamentais em cada nível. Em nível populacional, a relação de sobrevivência com os parâmetros comportamentais foi determinada pelo tempo de desvirar. Entretanto, em nível individual os comportamentos que responderam pela variação em sobrevivência foram tempo de caminhamento e a interação intraespecífica. Por que se apresentou essa diferença de comportamentos responsáveis pela sobrevivência em nível populacional e individual?

O tempo de caminhamento é um parâmetro de atividade locomotora dos indivíduos. Os inseticidas podem estimular ou inibir o comportamento locomotor geral de artrópodes (Haynes 1988, Desneux *et al* 2007). A correlação do tempo de caminhamento com o tempo de sobrevivência foi positiva, ou seja, os insetos que

andam mais têm maior probabilidade de sobrevivência. Maior tempo de caminhada indica maior atividade e maior taxa de encontro de refúgio e probabilidade de escape do contato com o inseticida. A interação intraespecífica pode ser uma medida indireta de atividade. O indivíduo com menor tempo de chegada no grão pode ser um indivíduo com maior atividade de exploração e maior tendência a procurar refúgio e não ficar parado.

As diferenças em nível populacional podem ser explicadas por diferentes causas. A distribuição geográfica delas implica diferenças em condições ambientais e, portanto pressões de seleção distintas. Cada população tem um conjunto de respostas fisiológicas expressas através do comportamento com as quais podem se adaptar melhor às condições ambientais (Martin e Bateson 1993). Essas respostas estão governadas pelo conjunto gênico característico de cada população.

No presente trabalho, a variação individual dos comportamentos (dentro das populações) foi muito maior do que a variação entre as populações. Os comportamentos de indivíduos da mesma idade ou sexo dentro de uma espécie podem ser diferentes mesmo com as condições ambientais padronizadas. Essas diferenças individuais podem se notar quando os indivíduos têm que lidar com os desafios do ambiente, como consequência do uso de diferentes estratégias em situações aparentemente similares (Broom 2001). Os traços comportamentais individuais respondem pelas variações animais a uma ampla faixa de estímulos e situações. Essa individualidade tem sido reportada para vários grupos de animais como primatas (Box 1999) e mamíferos principalmente ratos (Gosling 2001). Existem também relatos de diferenças individuais consistentes em grupos tão dissimilares como insetos (Brodin e Johansson 2004, Sih e Watters 2005) e cefalópodes (Sinn *et al* 2006). Essas diferenças consistentes em indivíduos têm recebido o nome de “personalidade animal” (Dall *et al* 2004). O status da “personalidade animal” enfrenta o desafio de ser aceito entre os cientistas, somente se responder perguntas que expliquem como e porquê de sua existência. Uma primeira visão implica que a personalidade animal estaria contradizendo o conceito de plasticidade fenotípica. Seguindo a teoria de jogos, os indivíduos têm duas possibilidades de assumir diferentes estratégias. Eles podem ter a habilidade de exibir plasticidade ótima sem limitações ou não exibir plasticidade nenhuma. Com o

estudo da personalidade animal, aparece outra abordagem do problema, sugerindo que os animais podem mostrar plasticidade, mas esta é limitada (i.e., parcial) –não é ótima (Sih *et al* 2003).

A confirmação da variação individual ressalta a importância dessa abordagem nos estudos ecotoxicológicos. Embora as avaliações ecotoxicológicas se realizem em indivíduos, os resultados são sempre extrapolados para conclusões sobre o estado das populações. Contudo, os efeitos individuais, nem sempre podem ser levados ao nível populacional e nem se pode confiar cegamente neles. Existem várias limitações para este procedimento. Sob o ponto de vista toxicológico, as respostas obtidas em indivíduos podem ser levadas a nível populacional, se estas demonstrarem ser boas aproximações para respostas populacionais (Schmidt 2004). Quando a mortalidade é muito alta, os resultados individuais respondem por resultados na população, mas quando existem efeitos subletais e a mortalidade é baixa, efeitos nos indivíduos podem não refletir os efeitos na população. É sugerido então, fazer mais pesquisas experimentais em nível populacional (Schmidt 2004). Por outro lado, os estudos em respostas individuais são fundamentais para a compreensão dos múltiplos efeitos possíveis causados por inseticidas e poluentes em geral, os quais não são os únicos fatores que afetam as populações naturais, além de que a compreensão da dinâmica populacional e de comunidades estaria limitada sem o estudo das respostas individuais (Sih *et al* 2004).

A não mortalidade é uma possível resposta do efeito no *indivíduo* frente a um desafio ambiental. O tempo de sobrevivência individual como resposta à contaminação por inseticidas foi o foco do presente trabalho. No qual se confirmou a existência de individualidade em *S. zeamais*, medida como características comportamentais e fisiológicas, relacionada com o tempo de sobrevivência em ambiente tratado com o inseticida deltametrina. As variações em nível individual podem ser favorecidas se contribuírem para variações em produtividade – crescimento e reprodução (Biro e Stamps 2008). Este é o primeiro estudo da individualidade em insetos-pragas de produtos armazenados e sua relação com a sobrevivência a inseticidas. A partir dos resultados obtidos nele, é possível vislumbrar a possibilidade de uma existência de personalidade que esteja correlacionada com a produtividade e adaptabilidade de indivíduos em pragas de

grãos armazenados. Além disso, é possível também pensar em implicações evolutivas de comportamentos individuais que respondam pela variação em sobrevivência e que serão favorecidos por seleção natural como comportamentos adaptativos, o que deve ser alvo de estudos futuros.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Existe individualidade nas populações brasileiras de caruncho de milho avaliadas. Essa individualidade é expressa em respostas comportamentais a diferentes situações e contextos. Os comportamentos individuais contribuem na variação em tempos de sobrevivência em ambientes tratados com inseticida. São necessários estudos que avaliem as implicações ecológicas, evolutivas e toxicológicas dessas variações individuais em relação com tempos de sobrevivência.

A diferença em comportamentos e a relação destes com o tempo de sobrevivência, em nível populacional podem ser explicadas por mecanismos de resistência presentes nas populações avaliadas, além das diferenças comportamentais.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adda, C., C. Borgemeister, A. Biliwa, W.G. Meikle, R.H. Markham & H.-M. Poehling (2002) Integrated pest management in post-harvest maize: a case study from the Republic of Togo (West Africa). *Agric. Ecos. Environ.* 93: 305-321.
- Badmin, J.S. (1990) IRAC survey of resistance of stored grain pests: results and progress. In: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Working Conference on Stored Product Protection*, Bordeaux, v.2: 973-981.
- Biro, P. A. & J. A. Stamps (2008) Are animal personality traits linked to life-history productivity? *Trends Ecol. Evol.* 23: 361-368
- Box, H.O. (1999) Temperament and socially mediated learning among primates. In *Mammalian Social Learning: Comparative and Ecological Perspectives*. Box H.O & Gibson K.R. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge 33-56.
- Brattsten, L.B., C.W. Holyoke Jr, J.R. Leeper, & K.F. Raffa (1986) Insecticide resistance: challenge to pest management and basic research. *Science* 231, 1255-1260.
- Brodin, T. & F. Johansson (2004) Conflicting selection pressures on the growth/predation-risk trade-off in a damselfly. *Ecology*. 85(11) 2929-2932
- Broom, D.M. (2001) Coping with challenge: welfare in animals including humans. Dahlem University Press, Dahlem.
- Brown, S.L., Lee, R.D. (2002) Effect of planting date, variety and degree of year maturation on the colonization of field corn by maize weevils (Coleoptera: Curculionidae). *J. Entomol. Sci.* 37:137-142.
- Champ, B.R. & C.E. Dyte (1976) FAO Global Survey of Pesticide Susceptibility of Stored Grain Pests. FAO/UNO, Rome.
- Chareonviriyaphap, T., D.R. Roberts, R.G. Andre, H. Harlan & M.J. Bangs (1997) Pesticide avoidance behavior in *Anopheles albimanus* Wiedmann. *J. Am. Mosq. Contr. Assoc.* 13, 171-183.
- Corrêa, A.S. (2009) Resistência fisiológica e comportamental de populações de *Sitophilus zeamais* a permetrina, esfenvalerato e esfenvalerato + fenitrotiona. Dissertação de mestrado. UFV

- Cox, P.D., D. A. Fleming, J.E. Atkinson, K.L. Bannon & J.M. Whitfield (1997) The effect of behaviour on the survival of *Cryptolestes ferrugineus* in an insecticide-treated laboratory environment. *J. Stored Prod. Res.* 33, 257-269.
- Cox, P.D. & L.E. Collins (2002) Factors affecting the behavior of beetle pests in stored grain, with particular reference to the development of lures. *J. Stored Prod. Res.* 38, 95-115
- Dall, S.R.X., A.I. Houston & J.M. McNamara (2004) The behavioral ecology of personality: consistent individual differences from an adaptive perspective. *Ecology Letters.* 7, 734-739.
- Danho, M., C. Gaspar & E. Haubruge (2002) The impact of grain quantity on the biology of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae): oviposition, distribution of eggs, adult emergence, body weight and sex ratio. *J. Stored Prod. Res.* 38, 259-266.
- Desneux, N., A. Decourtye & J.M. Delpuech (2007) The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Ann. Rev. Entomol.* 52, 81-106
- Excoffier, L., P.E. Smouse & J.M. Quattro (1992) Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131, 479-491.
- Georghiou, G.P. (1972) The evolution of resistance to pesticides. *Ann. Rev. Ecol. Sys.* 3, 133-168.
- Gosling, S.D. (2001) From mice to men: What can we learn about personality from animal research. *Psych. Bull.* 127, 45-86
- Grue, C.E., S.C. Gardner & P.L. Gibert (2002) On the significance of pollutant-induced alterations in the behavior of fish and wildlife. Chapter 1. In *Behavioural Ecotoxicology*. Dell’Omo G. (ed.) Ecological & Environmental Toxicology Series John Wiley & Sons, Ltd. 463 pp.
- Guedes, N.M.P., R.N.C. Guedes, G.H. Ferreira & L.B. Silva (2009) Flight take-off and walking behavior of insecticide-susceptible and –resistant strains of *Sitophilus zeamais* exposed to deltamethrin. *Bull. Entomol. Res.* pp 1-8
- Guedes, R.N.C., E.E. Oliveira, N.M.P. Guedes, B.M. Ribeiro, J.E. Serrão (2006) Cost and mitigation of insecticide resistance in the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Phys. Entomol.* v. 31, p. 30-38.



- Guedes, R.N.C., Dover, B.A., Kambhampati, S. (1996) Resistance to chlorpyrifos-methyl, pirimiphos-methyl, and malathion in Brazilian and US populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Econ. Entomol.* 89, 27-32.
- Guedes, R.N.C.; Lima, J.O.L.; Santos, J. P. & Cruz, C.D. (1994) Inheritance of deltamethrin resistance in a Brazilian strain of maize weevil (*Sitophilus zeamais* Mots.). *Int. J. Pest Manag.* 40: 103-106.
- Guedes, R.N.C. (1991) Resistência a inseticidas: desafio para o controle de pragas de grãos armazenados. *Seiva.* 50: 24-29.
- Guedes, R.N.C. (1990) Manejo integrado para a proteção de grãos armazenados contra insetos. *Rev. Bras. Armaz.* 15:3-48.
- Hagstrum, D.W., P.W. Flinn & R.W. Howard (1996) Ecology. In *Integrated Management of Insects in Stored Products*. Subramayam B.H. & Hagstrum D.W. (eds.) New York, Marcel Dekker, pp. 71-134.
- Haynes, K.F. (1988) Sublethal effects of neurotoxic insecticides on insect behavior. *Ann. Rev. Entomol.* 33, 149-168
- Kaplan, E.L. Meier P. Nonparametric estimation from incomplete observations. *J. Am. Stat. Assoc.* 1958; 53: 457-481.
- Lockwood, J.A., T.C. Sparks & R.N. Story (1984) Evolution of insect resistance to insecticides: a reevaluation of the roles of physiology and behavior. *Bull. Entomol. Soc. Amer.* 30, 41-51.
- Lorini, I., & S, Scheneider (1994) Pragas dos grãos armazenados: resultados de pesquisa. Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT 48 pp.
- Martin, P. & P. Bateson (1993) *Measuring Behaviour*. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 222 pp.
- Mitchell, R.J. (1993) Path analysis: pollination. *in* Scheiner, S.M. & Gurevitch, J. (eds.) *Design and analysis of ecological experiments*. New York, Chapman & Hall. p. 211–231.
- Miyatake, T., K. Katayama, Y. Takeda, A. Nakashima, A. Sugita & M. Mizumoto. (2004) Is death-feigning adaptive? Heritable variation in fitness difference of death-feigning behaviour. *Proc. R. Soc. Lond. B* 271, 2293-2296.

- Ohno, T. & T. Miyatake (2007) Drop or fly? Negative genetic correlation between death-feigning intensity and flying ability as alternative anti-predator strategies. *Proc. R. Soc. B.* 274; 555-560.
- Real, L.A. (1994) How to think about behavior: an introduction. In *Behavioral Mechanisms in Evolutionary Ecology*. Real, L.A. (ed.), University of Chicago Press, Chicago, IL. 460 pp.
- Reále, D., S.M. Reader, D. Sol, P.T. McDougall & N.J. Dingemans (2007) Integrating animal temperament with ecology and evolution *Biol. Rev.* 82: 291-318.
- Rees, D.J. (1996) Coleoptera. In *Integrated Management of Insects in Stored Products* Subramayam B.H. & Hagstrum D.W. (eds.) New York, Marcel Dekker. 1-39.
- Ribeiro, B.M.; R.N.C. Guedes; E.E., Oliveira & J.P. Santos (2003) Insecticide resistance and synergism in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.* 39: 21-31.
- Riley, J. R.; M.C.A. Downham & R.J. Cooter (1997) Comparison of the performance of *Cicadulina* leafhoppers on flight mills with that to be expected in free flight. *Entomol. Exp. et App.* 83, 317-322.
- Rossetto, C.J. (1969) O complexo de *Sitophilus* spp. (Coleóptera: Curculionidae) no estado de São Paulo. *Bragantia* 28: 127-148.
- Rossetto, C.J. (1969) O complexo de *Sitophilus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) no estado de São Paulo. *Bragantia* 28: 127-148.
- Santos, J.P., I.V.M. Cajueiro & R.A. Fontes (1986) Avaliação de perdas causadas por insetos no milho armazenado ao nível de fazenda, em três estados. In: *Relatório Técnico Annual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo*. Paiva E. (ed.) CNMPP/EMBRAPA, Sete Lagoas, 65-66.
- Santos, J.P. & E.C. Montovani (1997) Avaliação de perdas quantitativas no milho armazenado em nível de fazenda. CNPMS/EMBRAPA, Sete Lagoas.
- SAS Institute (2000) SAS/STAT User's Guide. SAS, Cary, NC, USA.
- Schmidt, B. R. (2004) Pesticides, mortality and population growth rate. *Trends Ecol. Evol.* Doi.:10.1016/j.tree.2004.06.06

- Sih, A. & J. Watters (2005) The mix matters: behavioural types and group dynamics in water striders. *Behaviour*. 142, 1417-1431.
- Sih, A. Bell & C. Johnson (2004) Behavioral syndromes: an ecological and evolutionary overview. *Trends Ecol. Evol.* 19: 371-378.
- Sih, A, L.B. Kats & E.F. Maurer (2003) Behavioural correlations across situations and the evolution of antipredator behavior in a sunfish-salamander system. *Anim. Behav.* 65, 29-44.
- Sinn, D.L., L.A. Apiolaza, & N.A. Moltschaniwskyj (2006) Heritability and fitness-related consequences of squid personality traits. *J. Evol. Biol.* 19, 1437-1447.
- Stamps, J.A. (2007) Growth-mortality tradeoffs and “personality traits” in animals *Ecology Letters* 10, 355-363.
- Subramanyam, B.H. & Hagstrum, D.W., 1996. Resistance measurement and management. In: *Integrated management of insects in stored products*. Subramanyam, B.H.; Hagstrum, D.W., eds. New York: Marcel Dekker, 331-397.
- Tolpo, N.C. & E.O. Morrison. Sex determination by snout characteristics of *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *The Texas Journal Science*, v.7, p. 122-124, 1965.
- White, N.D.G. & J.G. Leesch (1996) Chemical control. In *Integrated Management of Insects in Stored Products*. Subramayam B.H. & Hagstrum D.W. (eds.) New York, Marcel Dekker, pp. 287-330.
- Wolf, M., G. Sander van Doorn, O. Leimar & F.J. Weissing (2007) Life-history trade-offs favour the evolution of animal personalities *Nature* 447, 581-584