**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Influência da pressão atmosférica no comportamento sexual dos
insetos**

Ana Cristina Pellegrino

**Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de concentração:
Entomologia**

**Piracicaba
2011**

**Ana Cristina Pellegrino
Bióloga**

Influência da pressão atmosférica no comportamento sexual dos insetos

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ MAURÍCIO SIMÕES BENTO**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração:
Entomologia**

**Piracicaba
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Pellegrino, Ana Cristina

Influência da pressão atmosférica no comportamento sexual dos insetos / Ana Cristina Pellegrino. - - Piracicaba, 2011.
59 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Acasalamento 2. Comportamento sexual 3. Feromônios sexuais 4. Insetos
5. Lagartas 6. Pressão atmosférica - Efeitos fisiológicos 7. Pulgão 8. Vaquinha
I. Título

CDD 595.7059
P386i

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

*Agradeço, acima de tudo, a **Deus**, por ter criado tudo isso...*

*Aos **meus pais**, pela vida, apoio e incentivo;*

*A minha **irmã**, por ser uma besta, e por ter me feito companhia madrugadas a fio;*

*A toda minha **família** que, de uma forma ou outra, contribuiu para que eu fosse quem sou hoje;*

*Aos **meus avôs** que, mesmo não estando mais entre nós, estão sempre presentes;*

*Ao professor **José Maurício Simões Bento**, pela orientação e por todas as oportunidades que me ofereceu;*

*À **Universidade de São Paulo**, pela oportunidade de fazer parte do seu corpo discente;*

*A **CAPES** e **INCT de Semioquímicos na Agricultura** pelo auxílio financeiro e pela bolsa de mestrado;*

Aos membros da banca examinadora pelas correções e sugestões na redação desta dissertação;

*Ao professor **Alexandre de Sene Pinto**, pelas conversas, apoio, orientação e aprendizado desde que cheguei à **Esalq**;*

*Aos **professores do Curso de Pós-Graduação em Entomologia da ESALQ**, pelo aprendizado proporcionado;*

Aos funcionários do Departamento de Entomologia e Acarologia da ESALQ;

Aos laboratórios BIOTRON - Institute for Experimental Climate Change Research e AFAR - The Advanced Facility for Avian Research, na University of Western Ontario, London, Ontario, Canadá, por me receberem sem restrições;

Aos professores Jeremy N. McNeil e Christopher Gugliamo pela oportunidade, orientação e por disponibilizarem seus laboratórios e equipamentos. Ao Wayne Bezner Kerr, por resolver problemas como ninguém e construir o Freedomizer Mark I e II em tempo record;

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Química e Comportamento de Insetos da ESALQ, Aline, Ana Lía, André, Andréa, Arodi, Fernando, Franciele, Isabel, Karina, Kelly, Laura, Lucila, Luiza, Mariana, Mayra, Newton, Rejane L., Rejane K., Renata, Vitor C., Vitor S. e Weliton;

A M. Fernanda G.V. Penafior, pela amizade, alegria contagiante e dicas inestimáveis;

A Cristiane Nardi, por ser uma excelente amiga, uma paciente mentora e um exemplo a ser seguido;

Aos colegas do Biotron, em especial Jasmine Farhan e Kayla Stephenson, pela amizade, pelos passeios e por terem me proporcionado ajuda além do que qualquer um teria imaginado;

A Eliana A. Schammass, por ter feito a estatística dos meus dados e por estar presente em minha vida desde que nasci;

As minhas amigas do coração Analís Santos, Diana Santos Branco, Livia Garcia Pedroso, Marina Granuzzio e Vivian Maria Calderan, por representarem tudo que existe de bom nesse mundo;

A Camila Lie Hatanaka, por todo apoio, conversas e por ter sido meu porto seguro nesse último ano;

A Rízia da Silva Andrade, por ser uma excelente companheira de aventuras e estar sempre pronta a ajudar;

A Alex Ifanger, André Calderan, Angela Lima, Guilherme Vasconcelos, Valter Rosa dos Campos, Victor Moutinho por serem partes importantíssimas da minha vida;

Ao meu amigo André Brancalion, pelas risadas e por ser uma excelente companhia nos jogos do nosso tricolor;

A Idamis Lescovar, por me colocar de volta no eixo;

Ao Rogério Ceni, pela alegria proporcionada ao marcar seu 100º gol contra o Corinthians na semana do meu aniversário;

Por fim, a todas aquelas pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Determinação das categorias de pressão atmosférica.....	23
3.2 <i>Pseudaletia unipuncta</i>	25
3.2.1 Criação dos insetos.....	25
3.2.2 Comportamento de cópula	26
3.2.3 Comportamento de chamamento pelas fêmeas.....	27
3.3 <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	27
3.3.1 Criação dos insetos.....	27
3.3.2 Comportamento de cópula	28
3.3.3 Comportamento de chamamento pelas fêmeas.....	29
3.4 <i>Diabrotica speciosa</i>	30
3.4.1 Criação dos insetos.....	30
3.4.2 Coleta dos extratos naturais de fêmeas	31
3.4.3 Resposta dos machos ao feromônio sexual das fêmeas	33
3.4.4 Comportamento de pré-cópula.....	34
3.5 Análise estatística	35
3.5.1 <i>Pseudaletia unipuncta</i> e <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	35
3.5.2 <i>Diabrotica speciosa</i>	35
4 RESULTADOS	37
4.1 <i>Pseudaletia unipuncta</i>	37
4.2 <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	38
4.3 <i>Diabrotica speciosa</i>	40
5 DISCUSSÃO	43
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS.....	51

RESUMO

Influência da pressão atmosférica no comportamento sexual dos insetos

Tempestades acompanhadas por diferentes combinações de ventos, chuvas, variações bruscas de temperatura e de radiação solar são manifestações climáticas frequentemente associadas com queda na pressão atmosférica. Para os insetos, especialmente os pequenos insetos, estas condições de mau tempo são desfavoráveis e podem acarretar alta mortalidade na sua população. Neste trabalho foi demonstrado que as mudanças na pressão atmosférica influenciaram várias atividades do comportamento sexual nos insetos em ao menos três ordens, representados por *Pseudaletia unipuncta* (Haworth) (Lepidoptera: Noctuidae), *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae) e *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae). Os parâmetros comportamentais observados foram: (i) Resposta de atração do macho ao feromônio sexual (para *D. speciosa*); (ii) comportamento de chamamento das fêmeas (para *P. unipuncta* e *M. euphorbiae*); e (iii) comportamento de cópula (para *D. speciosa*, *P. unipuncta* e *M. euphorbiae*). Estes parâmetros, por sua vez, foram analisados sob diferentes condições de pressão atmosférica no Brasil (Bra) e Canadá (Can). Levando-se em conta dados históricos nestes locais, foi definido como 'condições estáveis' de pressão atmosférica variações de $\pm 1,5$ mbar (Bra) e $\pm 1,0$ mbar (Can); 'aumento de pressão' variando de $+2,0$ mbar (Bra) e $+4,0$ mbar (Can); e 'queda de pressão' variando de $-2,0$ mbar (Bra) e $-4,0$ mbar (Can), ao longo das seis horas anteriores a cada bioensaio. Os machos de *D. speciosa* responderam ativamente ao feromônio sexual em condições estáveis e de aumento da pressão atmosférica, porém permanecerem imóveis em condições de queda da pressão atmosférica. As fêmeas de *P. unipuncta* realizaram comportamento de chamamento sob condições estáveis e aumento da pressão atmosférica, reduzindo sensivelmente este comportamento quando houve queda da pressão atmosférica. As fêmeas de *M. euphorbiae* apresentaram comportamento de chamamento apenas em condições estáveis de pressão atmosférica, e permaneceram em repouso sob aumento e queda da pressão atmosférica. O comportamento de cópula em *P. unipuncta* e *M. euphorbiae* foi realizado preferencialmente sob condições estáveis de pressão atmosférica, e intensamente reduzidos em condições de queda e aumento de pressão atmosférica. Em *D. speciosa*, apesar dos casais terem realizado a cópula, independentemente das variações observadas de pressão atmosférica, o tempo investido e as sequências comportamentais durante essas cópulas foram encurtadas nas condições de queda da pressão atmosférica. Os resultados aqui apresentados demonstraram que o comportamento sexual dos insetos foi influenciado pelas variações da pressão atmosférica, e aparentemente, a percepção antecipada dessas variações teria um valor adaptativo importante,

selecionando os indivíduos mais aptos, permitindo assim sua sobrevivência em razão das mudanças bruscas nas condições atmosféricas.

Palavras-chave: Pressão barométrica; Comportamento sexual; Comportamento de cópula; Comportamento de chamamento; *Pseudaletia unipuncta*; *Macrosiphum euphorbiae*; *Diabrotica speciosa*

ABSTRACT

Influence of atmospheric pressure on the sexual behavior of insects

Storms accompanied by different combinations of wind, rain, sudden changes in temperature and solar radiation are climatic events often associated with decreasing atmospheric pressure. For insects, especially small insects, these weather conditions are unfavorable and can cause high mortality in a population. This study showed that changes in atmospheric pressure affected various activities of the sexual behavior in insects of at least three orders, represented by *Pseudaletia unipuncta* (Haworth) (Lepidoptera: Noctuidae), *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae) and *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae). The behavior parameters observed were: (i) male response to sex pheromone (for *D. speciosa*), (ii) calling behavior of females (for *P. unipuncta* and *M. euphorbiae*) and mating behavior (for *D. speciosa*, *P. unipuncta* and *M. euphorbiae*). These parameters were analyzed under different atmospheric pressure conditions in Brazil (Bra) and Canada (Can). According to historic data in these locations, the variations in atmospheric pressure were determined as 'stable' when varying $\pm 1,5\text{mbar}$ (Bra) and $\pm 1,0\text{mbar}$ (Can); increasing when varying $+2,0\text{mbar}$ (Bra) and $+4,0\text{mbar}$ (Can) and 'decreasing' when varying $-2,0\text{mbar}$ (Bra) and $-4,0\text{mbar}$ (Can), throughout six hours preceding each bioassay. *D. speciosa* males responded to the sex pheromone in stable and increasing atmospheric pressures, but remained still in decreasing atmospheric pressure. *P. unipuncta* females called under stable and increasing atmospheric pressures, and reduced its behavior considerably when there was a decrease in atmospheric pressure. *M. euphorbiae* females called only under stable atmospheric pressure, and remained still under increasing and decreasing atmospheric pressures. The mating behavior in *P. unipuncta* and *M. euphorbiae* occurred preferably under stable conditions, and was reduced in increasing and decreasing atmospheric pressures. *D. speciosa*, despite mating under variations in atmospheric pressure, invested less time and shortened the behavioral sequences under decreasing pressure. The results presented here demonstrated that the sexual behavior of insects was influenced by variations in atmospheric pressure and, apparently, the early perception of these changes may add an important adaptive value to them, since it selects those who respond to these conditions, allowing their survival under changes in climatic conditions.

Keywords: Barometric pressure; Sexual behavior; Mating behavior; Calling behavior; *Pseudaletia unipuncta*; *Macrosiphum euphorbiae*; *Diabrotica speciosa*

1 INTRODUÇÃO

São muitos os estudos acerca da influência de fatores abióticos na vida dos insetos. Temperatura, umidade, luz e vento estão entre os fatores mais conhecidos que em conjunto ou isoladamente afetam todas as fases de desenvolvimento dos insetos, atuando positiva ou negativamente sobre os indivíduos de uma população. Todavia, as pesquisas sobre a influência da pressão atmosférica sobre os insetos; referida como importante desde meados da década de 1940 (WELLINGTON, 1946a), ainda permanecem inexploradas.

Em geral, muitos autores frequentemente notam alterações diárias e uma inconsistência na coleta de dados observados em ensaios biológicos, conduzidos, especialmente, sob condições controladas em laboratório – excetuando-se obviamente as variações na pressão atmosférica – e poucos atribuem essas possíveis diferenças a este fator atmosférico.

Trabalhos sobre o efeito da pressão atmosférica nos insetos são escassos e versam sobre algumas das atividades de rotina desempenhada por esses organismos, como por exemplo, início de vôo, forrageamento, resposta aos feromônios sexuais e de agregação. Lanier e Burns (1978) mostraram que alterações na pressão atmosférica causaram uma diminuição na resposta de *Scolytus multistriatus* (Marsh.) (Coleoptera: Scolytidae) e *Ips pini* (Say) (Coleoptera: Scolytidae) aos seus feromônios de agregação. Roermund e Lenteren (1995) observaram que o parasitóide *Encarsia formosa* (Gahan) (Hymenoptera: Aphelinidae), se tornou inativo em relação à atividade de forrageamento nas folhas, com a queda da pressão atmosférica. Marchand e McNeil (2000) demonstraram que variações na pressão atmosférica influenciaram a comunicação química de *Aphidius nigripes* (Ashmead) (Hymenoptera: Aphididae), sendo que o número de machos que foram atraídos pelas fêmeas foi menor em grandes alterações de pressão comparado às condições estáveis. Com isso, a produção de feromônio pelas fêmeas e/ou a receptividade dos machos foi reduzido nas alterações pronunciadas de pressão. Resultados semelhantes foram encontrados também por Fournier et al. (2005), onde *Trichogramma evanescens*

(Westwood) e *T. pretiusum* (Riley) (Hymenoptera, Trichogrammatidae) não foram afetados por mudanças lentas de pressão, mas uma queda brusca reduziu o início do vôo das fêmeas.

Queda na pressão atmosférica está geralmente associada com mau tempo, incluindo chuvas e tempestades, e essas condições podem causar alta mortalidade de pequenos insetos (WELLINGTON, 1946a). A capacidade dos insetos em detectar e ajustar seu comportamento em função das mudanças na pressão atmosférica poderia indicar um valor adaptativo importante para sua sobrevivência, permitindo a busca por abrigo e evitando assim um mau tempo. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi investigar a influência da pressão atmosférica sobre o comportamento sexual dos insetos utilizando-se três espécies pertencentes a diferentes ordens, *Pseudaletia unipuncta* (Haworth) (Lepidoptera: Noctuidae), *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae) e *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O efeito da pressão barométrica sobre o comportamento e sobrevivência dos insetos tem sido pouco estudado. Contudo, os poucos trabalhos sobre esta variável climática sugerem que ela desempenha um papel significativo na dinâmica populacional destes organismos. Tempestades acompanhadas por diferentes combinações de ventos, chuvas, variações bruscas de temperatura e de radiação solar são manifestações climáticas frequentemente associadas com queda na pressão atmosférica. Para os insetos, especialmente aqueles de tamanho diminuto, com limitada capacidade de vôo e de vida curta, estas condições de mau tempo são desfavoráveis e podem acarretar elevada mortalidade na sua população (WELLINGTON, 1946a).

Os estudos conduzidos para avaliar a influência da pressão atmosférica sobre os insetos são pontuais com destaque para o comportamento de vôo, especialmente, o início da atividade de vôo. Outros estudos foram feitos para testar o efeito desempenhado pela pressão atmosférica sobre o forrageamento e resposta aos feromônios sexuais e de agregação.

Atividades relacionadas ao vôo dos insetos

O valor preditivo das condições climáticas associado com a antecipação da queda da pressão barométrica já foi bem documentado no passado, e tido como estratégica na atividade de vôo para as grandes migrações de insetos, que são em grande parte beneficiados pela formação das nuvens convectivas que precedem as típicas chegadas de frentes frias (WELLINGTON, 1946a; HENSON, 1951).

Um dos primeiros estudos correlacionando a pressão atmosférica e o comportamento dos insetos foi de Wellington (1946b). Ele demonstrou a existência de aristas antenais sensíveis a sutis flutuações de pressão, atuando como barorreceptores em algumas espécies de Diptera pertencentes às famílias Calliphoridae, Muscidae, Sarcophagidae e Tachinidae. Além disso, esses insetos

reagiram à queda de pressão com vôos erráticos, não apresentando qualquer elemento direcional. O autor sugeriu que esse vôo errático representava uma reorientação do comportamento em resposta à chegada das condições adversas.

Chadwick e Williams (1949) demonstraram que a frequência de batidas de asa por minuto de *Drosophila repleta* (Wollaston) (Diptera: Drosophilidae) variou conforme a pressão atmosférica. Uma frequência de 160 batidas por minuto pode aumentar em até 20 batidas se o inseto estiver em uma altitude de 2000m; e quando exposto a uma pressão de 10 atm, o inseto se torna incapaz de voar (MAGNAN, 1934; CASE; HALDANE, 1941; citados pelo autor). Chadwick e Williams demonstraram ainda que a relação entre a frequência de batidas de asa e a pressão barométrica foi, de fato, uma relação inversamente proporcional entre a frequência de batidas e a densidade dos gases presentes na atmosfera, que influenciou a movimentação das asas em *D. repleta*.

Hurtrel e Thiery (1999) observaram que fêmeas virgens de 3 dias de idade de *Lobesia botrana* (Dennis & Schiffermüller) (Lepidoptera: Tortricidae) aumentaram a atividade de vôo com a queda da pressão barométrica. Antes de tempestades, os adultos tornaram-se muito ativos e as fêmeas voaram e ovipositaram independentemente de seu ciclo circadiano. Um efeito semelhante foi encontrado em *Choristoneura fumiferana* (Clem.) (Lepidoptera: Tortricidae) e *Leptopilina heterotoma* (Thomson) (Hymenoptera: Eucilidae) (MILLER; MCDOUGALL, 1973; ROITBERG et al., 1993; citados pelos autores). Os autores interpretaram esses dados como uma resposta do inseto a uma expectativa de vida reduzida devido às variações climáticas.

Fournier et al. (2005) demonstraram que *Trichogramma pretiosum* (Riley) e *T. evanescens* (Westwood) (Hymenoptera, Trichogrammatidae) não têm o início do vôo afetado por condições estáveis ou mudanças lentas na pressão atmosférica, mas alterações súbitas, tanto para cima quanto para baixo, tiveram efeito quase imediato no início do vôo, causando diminuição dessa atividade. Essa reação de acordo com os autores seria uma adaptação as possíveis mudanças climáticas que estariam por vir, reduzindo assim os riscos de morte ou vôo descontrolado em condições adversas.

Rousse et al. (2009) mostraram que a atividade de vôo das fêmeas de *Fopius arisanus* (Sonan) (Hymenoptera: Braconidae) foi influenciada pela pressão atmosférica. A atividade teve correlação positiva com as variações de pressão na maior parte do dia, mas decaiu enquanto a pressão subia durante o final da tarde. Porém, não houve influência na atividade de parasitismo. Segundo os autores, as variações de pressão indicariam um risco para os insetos voadores, apesar de o mesmo não ocorrer com fêmeas ovipositando, que seriam menos vulneráveis aos riscos climáticos pois, quando forrageando por locais de oviposição, não haveria atividade de vôo.

Resposta a feromônios

Lanier e Burns (1978) demonstraram que alterações na pressão atmosférica promoveram uma diminuição na resposta dos coleopteros *Scolytus multistriatus* (Marsh.) (Coleoptera: Scolytidae) e *Ips pini* (Say) (Coleoptera: Scolytidae) aos seus feromônios de agregação em laboratório. Os autores enfatizaram que a direção e amplitude das variações de pressão, ao invés da pressão propriamente dita, foram os responsáveis por essa alteração de comportamento.

Steinberg et al. (1992) observaram que a variação diária na resposta do parasitóide *Cotesia glomerata* (L.) (Hymenoptera: Braconidae) aos voláteis do sistema planta+hospedeiro [*Brassica oleracea* cv. Titurel vs *Pieris brassicae* (L.) (Lepidoptera: Pieridae)], respectivamente em casas de vegetação e túnel de vento foi relacionada às mudanças de pressão ao longo do dia. Eles sugeriram que essa variação na resposta de *C. glomerata* foi uma adaptação do parasitóide, sendo mais vantajoso se abrigar do que se expor às condições adversas.

Roermund e Lenteren (1995), estudando o tempo alocado por *Encarsia formosa* (Gahan) (Hymenoptera: Aphelinidae), na procura de seu hospedeiro em folhas de tomateiro, notaram que em alguns dias ou partes dos dias, quase todos os indivíduos permaneciam inativos. Os autores correlacionaram essas

observações com as variações de pressão atmosférica dos dias de inatividade e, concluíram que com a queda da pressão, os insetos se tornavam inativos.

Marchand e McNeil (2000) mostraram que variações na pressão atmosférica influenciaram a comunicação química de *Aphidius nigripes* (Ashmead) (Hymenoptera: Aphidiidae), sendo que o número de machos atraídos pelas fêmeas foi significativamente menor nas situações de amplas alterações de pressão, comparativamente as condições estáveis. Com isso, a produção de feromônio pelas fêmeas e/ou a receptividade dos machos foi comprometida nas condições em que ocorreram pronunciadas alterações de pressão.

Outros comportamentos

Ankney (1984) demonstrou durante um estudo de comportamento de acasalamento em *Drosophila pseudoobscura* (Frolova & Astaurov) (Diptera: Drosophilidae) que a atividade de acasalamento foi bastante influenciada pela pressão atmosférica. Dentre todos os fatores abióticos que reduziram a ocorrência dos acasalamentos, cerca de 30% dos casos foram atribuídos a queda da pressão atmosférica.

Zettel (1984) estudou os fatores que afetam a atividade na neve de *Isotoma hiemalis* (Schött) (Collembola) e concluiu sua presença na superfície na neve foi desencadeada pela queda de pressão atmosférica.

Roitberg et al. (1993) observaram que sob condições climáticas adversas onde o risco de mortalidade aumenta, o parasitóide *Leptopilina heterotoma* (Thomson) (Hymenoptera: Eucoilidae) foi mais propenso a permanecer num mesmo local e promover um hiperparasitismo.

Raguso et al. (2007), estudando a influência dos fatores abióticos no comportamento alimentar do adulto de *Manduca sexta* (L.) (Lepidoptera, Sphingidae), notaram alterações no seu comportamento, como se manter inativo ou apresentar vôo de fuga, sob rápidas alterações da pressão atmosférica. Os autores concluíram que os valores de pressão atmosférica deveriam ser

monitorados durante os experimentos para auxiliar na compreensão do comportamento alimentar de *M. sexta*.

Visando comprovar a hipótese sobre a influência da pressão atmosférica no comportamento sexual dos insetos, este trabalho selecionou como modelo experimental, três espécies pertencentes a diferentes ordens, *Pseudaletia unipuncta* (Haworth) (Lepidoptera: Noctuidae), *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae) e *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae).

Pseudaletia unipuncta

A lagarta das pastagens, *Pseudaletia unipuncta* (Haworth) (Lepidoptera: Noctuidae) foi primeiramente registrada nos Açores em 1870, e tem uma distribuição muito vasta em todo o mundo, incluindo sul da Europa, África Oriental, sul e sudoeste Asiático, sul do Japão, Nova Guiné, América Central, Austrália e Ilhas da Madeira, Canárias e Açores (TAVARES, 1981; BUES et al., 1986; SIMÕES, 2001)

Na América do Norte, apresenta comportamento migratório, podendo ser encontrada nos Estados Unidos, a leste das Montanhas Rochosas, até o sul do Canadá (BEIRNE, 1971; McNEIL, 1987).

P. unipuncta é uma importante praga de cereais e plantas forrageiras (BEIRNE, 1971; BREELAND, 1958; GUPPY, 1961), mas pode ser praga esporádica de muitas outras culturas, como feijão, cenoura, milho, ervilha e batata doce (BEIRNE, 1971). Os danos são causados pelas lagartas, que nos primeiros instares se alimentam das margens das folhas de suas plantas hospedeiras e, nos instares mais avançados, consomem toda a superfície foliar (GUPPY, 1961).

Macrosiphum euphorbiae

Tendo como centro de origem a América do Norte, o pulgão das solanáceas, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae), tem distribuição em todo o mundo. O primeiro relato foi em 1909, em O'ahu, Hawaii, EUA (FOOTTIT et al., 2011). Apresenta alternância de gerações entre indivíduos ápteros e alados, que são dependentes da temperatura, fotoperíodo, tipos de pais e a geração a qual pertence (MacGILLIVARY; ANDERSON, 1964). Afídios alados são mais comuns em dias com temperaturas em torno de 20 °C, 11-13h de luz, pais ápteros e ser a primeira geração produzida em tais condições (MacGILLIVARY; ANDERSON, 1964).

Afídios estão entre as pragas que mais causam danos às culturas (EASTOP, 1977; BLACKMAN; EASTOP, 1984). *M. euphorbiae* é um inseto polífago que ataca mais de 200 espécies de plantas, incluindo leguminosas e plantas ornamentais (TRUMBLE et. al., 1983; REININK; DIELEMAN, 1989; BLACKMAN; EASTOP, 2000). É uma importante praga de batata (Solanaceae) (RADCLIFFE, 1982) e tomate (SHANDS et al., 1965; LANGE; BRONSON, 1981) em todo o mundo.

Quando a população de pulgões atinge altas populações em uma cultura, os danos geralmente são a deformação das plantas hospedeiras e o enrolamento e enrugamento de suas folhas (METCALF, 1962). Além disso, são capazes de transmitir mais de 100 tipos de vírus as mais diferentes culturas (KENNEDY et al., 1962; BLACKMAN; EASTOP, 1984).

Diabrotica speciosa

O gênero *Diabrotica* Chevrolat, inclui algumas das principais pragas das Américas, cujos indivíduos possuem hábito rizófago na fase larval e filófago na fase adulta. No Brasil, a espécie mais abundante e danosa às culturas agrícolas é *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae). Conhecida vulgarmente como “vaquinha” ou “patriota”, *D. speciosa* ocorre praticamente em

todos os estados brasileiros, e em alguns países da América do Sul (KRYSAN, 1986), ocasionando danos em cultivos de milho (*Zea mays* L.) (Poaceae), batata (*Solanum tuberosum* L.) (Solanaceae), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (Leguminosae), entre outros (KRYSAN, 1986; ÁVILA; MILANEZ, 2004).

É um inseto polífago, e tanto as larvas quanto a forma adulta causam danos às plantas cultivadas. As larvas causam maiores danos, especialmente nas culturas do milho e da batatinha. No milho, as larvas alimentam-se principalmente das raízes adventícias afetando diretamente o rendimento de grãos da cultura (GASSEN, 1994). Já os adultos alimentam-se da folhagem de várias espécies de plantas de importância econômica, dentre elas, as hortaliças (solanáceas, cucurbitáceas, crucíferas), feijoeiro, soja, batatinha, girassol e milho (GASSEN, 1989). Além disso, podem danificar indiretamente as plantas, pela transmissão de patógenos (BOFF; GANDIN, 1992; OLIVEIRA et al., 1994; MARQUES; ÁVILA; PARRA, 1999).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Determinação das categorias de pressão atmosférica

Os bioensaios com *Pseudaletia unipuncta* (Haworth) (Lepidoptera: Noctuidae) e *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae) foram realizados no interior de uma câmara barométrica, em London, Ontario, Canadá, no AFAR – Advanced Facility for Avian Research, na University of Western Ontario (Figura 1). Por meio da câmara barométrica foi possível regular e controlar a pressão atmosférica, assim como a temperatura ($25\pm1^{\circ}\text{C}$ e $20\pm1^{\circ}\text{C}$), umidade ($65\pm10\%$ e $60\pm10\%$) e fotoperíodo (16L:8E e 12L:12E), para *P. unipuncta* e *M. euphorbiae*, respectivamente (Figura 2). Foram estabelecidas três categorias de pressão barométrica, (i) estável, (ii) elevação, e (iii) queda, descritas a seguir: (i) Os insetos foram colocados no interior da câmara, e permaneceram sob pressão constante de $972\pm1\text{mbar}$ durante 12h antes do início de cada bioensaio; (ii) partindo-se de uma pressão de $972\pm1\text{mbar}$ (estável) por 6h, nas demais 6h que antecederam cada bioensaio, a pressão foi gradualmente alterada para $977\pm1\text{mbar}$; ou (iii) $967\pm1\text{mbar}$. Nestes casos (ii e iii), durante as 6h que precediam os bioensaios, a cada hora, a pressão foi ajustada em 1mbar, obtendo-se ao final uma diferença de ao menos 4mbar da pressão barométrica considerada estável. O tempo de 6h para se estabelecer um novo patamar de pressão, seja de queda ou elevação, a partir da pressão considerada estável foi baseado nos resultados obtidos por van Roermund e Van Lenteren (1995); e a diferença de ao menos 4mbar entre elas, foi baseado em Marchand e McNeil (2000), para as condições históricas de pressão atmosférica desta localidade.

Figura 1 - (A) AFAR – Advanced Facility for Avian Research; (B) Controle externo e janela de observação da câmara barométrica; (C) Câmara barométrica vista de cima

Figura 2 - (A) Sistema de regulação de pressão da câmara barométrica; (B) controles de pressão, temperatura, umidade, e luz no interior da câmara

Para *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae) os bioensaios foram conduzidos em Piracicaba, São Paulo, Brasil. Os dados de pressão atmosférica foram obtidos na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Piracicaba-SP, na latitude -22.7027167°, longitude -47.6230° e altitude de 571 metros em relação ao nível do mar. O INMET forneceu os dados em intervalos de uma hora, tornando-se assim possível o seu monitoramento ao longo do dia. A flutuação da pressão atmosférica foi avaliada nas 12h que antecederam os bioensaios. Porém, os bioensaios só foram conduzidos nas situações em que nas primeiras 6h de observação a pressão barométrica se manteve com variações de até $\pm 1,5$ mbar. A partir daí, foram estabelecidas três categorias de pressão barométrica, (i) estável, (ii) elevação, e (iii) queda, descritas a seguir: (i) Os insetos foram mantidos no laboratório, sob pressão atmosférica ambiente com variação de até $\pm 1,5$ mbar durante as 12h antes do início de cada bioensaio; (ii) partindo-se de uma pressão estável ($\pm 1,5$ mbar) por 6h, nas demais 6h que antecederam cada bioensaio, a pressão sofreu uma variação maior que 2mbar; ou (iii) menor que 2mbar. O tempo de 6h para se estabelecer um novo patamar de pressão, seja de queda ou elevação, a partir da pressão considerada estável foi baseado nos resultados obtidos por van Roermund e Van Lenteren (1995); e a diferença de ao menos 2mbar entre elas, foi baseado nas condições históricas de pressão atmosférica desta localidade.

3.2 *Pseudaletia unipuncta* (Haworth) (Lepidoptera: Noctuidae)

3.2.1 Criação dos insetos

Os insetos utilizados nos bioensaios foram obtidos de uma colônia mantida em laboratório, em Normandin, Quebec, Canada, e mantidos em incubadora no BIOTRON – Experimental Climate Change Research Centre, University of Western Ontario, London, Ontario, Canadá, a uma temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $65 \pm 5\%$ e fotofase de 16h.

As lagartas foram criadas individualmente em copos plásticos de café com dieta artificial (adaptada de SHOREY; HALE, 1965), e mantidas até a fase de

pupa. As pupas foram retiradas da dieta, sexadas de acordo com o critério de Breeland (1958) e colocadas em gaiolas de armação de madeira e tela, de dimensões 20cmx15cmx15cm. Diariamente, os adultos que emergiam eram retirados da gaiola de pupas e colocados em novas gaiolas, para que as idades dos indivíduos fossem conhecidas. Os machos e fêmeas foram mantidos separadamente e alimentados com solução de mel 8%.

3.2.2 Comportamento de cópula

Os bioensaios foram iniciados após as manipulações da pressão barométrica, que coincidiam com o horário de maior atividade sexual dos insetos, ou seja, entre as 4 e 6h da manhã, e com idade propícia ao acasalamento (6 a 8 dias), de acordo com McNeil et al. (1996).

Os casais foram colocados em gaiolas de tela com dimensões de 20x15x15cm e dentro da câmara barométrica às 16h para ambientação, sendo que a manipulação da pressão durou das 22 às 4h. As 6h da manhã, as fêmeas foram retiradas das gaiolas e dissecadas para determinar a presença de espermatóforo, visando à confirmação do acasalamento (Figura 3).

Figura 3 – Sistema reprodutor de fêmeas de *Pseudaletia unipuncta*. (A) Espermateca com espermatóforo e (B) Espermateca sem espermatóforo

3.2.3 Comportamento de chamamento pelas fêmeas

As observações do comportamento de chamamento das fêmeas foram realizadas nas mesmas condições descritas acima, após as manipulações da pressão, às 4h da manhã. Foram utilizadas fêmeas virgens com 8 dias de idade, conforme estabelecido por McNeil et al. (1996).

As fêmeas foram colocadas individualmente em tubos plásticos, contendo um algodão embebido de solução de mel 8%. Esses tubos possibilitavam a visualização da glândula de feromônio exposta. Uma fêmea foi considerada como chamando assim que expunha sua glândula de feromônio (Figura 4).

Figura 4 – (A) Recipientes onde foram observados o comportamento sexual de *Pseudaletia unipuncta* e (B) Comportamento de chamamento; no detalhe, glândula de feromônio exposta

3.3 *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae)

3.3.1 Criação dos insetos

Os indivíduos utilizados nos experimentos foram provenientes de uma criação laboratorial estabelecida com indivíduos partenogênicos coletados em campos de batata na região de Quebec, Canadá, e mantidos em incubadora no BIOTRON – Experimental Climate Change Research Centre, University of Western Ontario, London, Ontario, Canadá.

As colônias foram mantidas em mudas de batata, *Solanum tuberosum* c.v. Norland, a $20\pm1^{\circ}\text{C}$, $60\pm10\%$ UR e fotoperíodo de 16L:8E, condições que mantiveram a contínua produção de indivíduos assexuados (Figura 5A).

Indivíduos sexuais foram obtidos a partir de duas gerações consecutivas, nas condições de $20\pm1^{\circ}\text{C}$, $60\pm10\%$ UR e fotoperíodo de 12L:12E. Indivíduos assexuados (que produzem fêmeas sexuadas e machos alados) foram produzidos na primeira geração e foram todos mantidos nas plantas hospedeiras. A geração seguinte foi coletada diariamente para garantir a produção de fêmeas ovíparas e machos com idades conhecidas. Os indivíduos foram mantidos em tubos plásticos de 15cm de comprimento e 5cm de diâmetro contendo uma folha de *S. tuberosum*, que era trocada a cada dois dias. Fêmeas e machos foram mantidos separadamente para garantir que as fêmeas permanecessem virgens e que os machos não entrariam em contato com o feromônio sexual das fêmeas antes dos bioensaios (GOLDANZA; McNEIL, 2003, 2004, 2006) (Figura 5B).

Figura 5 - (A) Criação de *Macrosiphum euphorbiae* em câmara climatizada, indivíduos assexuados mantidos nas gaiolas e fêmeas ovíparas individualizadas em tubos plásticos; (B) detalhe das bandejas com os machos

3.3.2 Comportamento de cópula

Os bioensaios foram iniciados após as manipulações da pressão barométrica, que coincidiam com o horário de maior atividade sexual dos insetos, ou seja, entre as 9 e 11h da manhã, e com idade propícia ao acasalamento

(machos e fêmeas virgens, com 1 e 3 dias de idade, respectivamente), de acordo com (GOLDANSAZ; McNEIL, 2003).

Os casais de *M. euphorbiae* foram individualizados em tubos plásticos de 15cm de comprimento e 5cm de diâmetro contendo uma folha de roseira, *Rosa canina* (L.) em sua parede (Figura 6C), e colocados dentro da câmara barométrica às 21h para ambientação, sendo que a manipulação da pressão durou das 3 às 9h da manhã (Figura 6A).

3.3.3 Comportamento de chamamento pelas fêmeas

Fêmeas virgens de *M. euphorbiae* de 3 dias de idade foram individualizadas em tubos plásticos de 15cm de comprimento e 5cm de diâmetro contendo uma folha de planta de batata em sua parede e o comportamento de chamamento foi observado de hora em hora, no período de maior atividade sexual (9-11h da manhã). Uma fêmea foi considerada como chamando quando o abdômen e terceiro par de pernas eram elevados e perdiam o contato com a superfície da planta hospedeira (Figura 6B). Uma vez iniciado, o comportamento foi geralmente contínuo e raramente interrompido, assim, uma vez nesta posição característica, a fêmea foi considerada como chamando. Os insetos foram mantidos a $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, $60\pm 5\%$ UR e fotoperíodo de 12L:12E (GOLDANSAZ; McNEIL, 2003).

Figura 6 - (A) Tubos plásticos fixados na janela da câmara barométrica para observações de *Macrosiphum euphorbiae*; (B) Fêmea em posição característica de comportamento de chamamento (C) Casal de *M. euphorbiae*

3.4 *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae)

3.4.1 Criação dos insetos

Os indivíduos de *D. speciosa* foram obtidos a partir de criação em laboratório, baseada na metodologia de Milanez (1995), Ávila (1999) e Ávila, Tabai e Parra (2000). Larvas e adultos foram alimentados com raízes de milho ('Suwan') e folhas de feijoeiro, ('Carioca'), respectivamente. Adultos foram mantidos em gaiola plástica (40 x 30 x 40 cm) contendo plantas de feijoeiro e substrato de oviposição, constituído de um recipiente circular (10 x 1,5 cm) forrado com gaze preta umedecida (MILANEZ, 1995). Em intervalos de dois dias, as posturas foram coletadas, lavando-se a gaze em água corrente sobre uma peneira de voile, e os ovos recolhidos foram tratados com solução de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) a 1%, por dois minutos, e transferidos para placas de Petri (9 x 1 cm), onde permaneceram até a eclosão. As larvas recém-eclodidas foram inoculadas em sementes de milho pré-germinadas e mantidas em recipientes plásticos preenchidos com vermiculita umedecida (1 parte vermiculita: 2 partes

água). Após 15 dias de desenvolvimento, os imaturos foram transferidos para novos recipientes contendo o mesmo substrato e novas plântulas de milho, permanecendo até a emergência dos adultos. Para a criação de *D. speciosa*, assim como para a realização dos bioensaios comportamentais, os insetos foram mantidos em salas climatizadas com temperatura de $22\pm 3^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 10\%$ e fotoperíodo de 14:10h. Durante a escotofase, os insetos foram visualizados com lâmpada de diodo emissor de luz forrada com plástico vermelho (Supergel Rosco®, 4% transparência), e durante a fotofase com luz branca artificial (32 W).

3.4.2 Coleta dos extratos naturais de fêmeas

A coleta dos voláteis emitidos pelas fêmeas de *D. speciosa* foi realizada pelo sistema de aeração (MILLAR; HAYNES, 1998; ZARBIN et al., 1999) (Figura 7A), utilizando-se câmaras horizontais de vidro (20 x 7 cm) com aberturas laterais para a entrada e saída de ar. No interior da câmara, foram mantidas 30 fêmeas de *D. speciosa* com 5 a 10 dias de idade, submetidos a um fluxo de ar de 800 mL/min, durante 12-14 horas. Na outra extremidade da câmara, foi conectada uma coluna de vidro (7,5 x 0,5 cm) contendo 0,150g de polímero adsorvente (Super Q® 80/100 Mesh, Alltech Assoc., IL, EUA) (Figura 7B).

O fluxo de ar no interior da câmara foi gerado por uma bomba de vácuo e regulado por fluxômetros, sendo que todas as conexões foram instaladas com mangueiras de Teflon® PTFE. Após cada coleta, os tubos com adsorvente foram retirados e os voláteis nele contidos foram eluídos com 2 mL de hexano (Figura 7C). As amostras foram concentradas para 150µL utilizando-se N₂ gasoso e mantidas em frascos vedados a temperatura de -10°C para utilização nos bioensaios (Figura 7D).

Figura 7 - Obtenção de extratos do feromônio sexual de *Diabrotica speciosa*. (A) Sistema de extração por aeração; (B) coluna de polímero para adsorção dos compostos químicos; (C) materiais utilizados para a eluição dos compostos contidos na coluna; (D) concentração do extrato utilizando nitrogênio gasoso filtrado (NARDI, 2010)

3.4.3 Resposta dos machos ao feromônio sexual das fêmeas

Os bioensaios para avaliar a atratividade de machos de *D. speciosa* ao extrato das fêmeas foram realizados em olfatômetro do tipo “Y”, constituído de um tubo principal e dois tubos laterais de vidro (20 x 3 cm), aos quais foram conectadas câmaras contendo os extratos das fêmeas (Figura 8). O fluxo de ar foi promovido por uma bomba de vácuo conectada ao olfatômetro, que permitiu a passagem do ar pelos tubos laterais e a chegada dos odores ao tubo principal. O fluxo utilizado foi de 1L/min, controlado por fluxômetros dispostos nas extremidades da entrada de ar. Os bioensaios foram realizados durante o horário de maior atividade sexual dos insetos (18h-24h), utilizando machos com idade propícia ao acasalamento (a partir de 3 dias), conforme estabelecido por Nardi (2010), e sempre verificando a flutuação da pressão atmosférica nas 6h que antecediam os bioensaios.

Para todos os bioensaios, foram liberados, individualmente, 40 machos de *D. speciosa* no tubo principal do olfatômetro, verificando-se a frequência de machos que apresentaram resposta e quantos desses se direcionaram para o extrato. Foi considerado macho ativo aquele que se movimentou no olfatômetro. Aqueles que permaneceram imóveis no olfatômetro foram considerados inativos. Para cada repetição confrontou-se o extrato vs controle (solvente), em um tempo máximo de cinco minutos, conforme estabelecido por Nardi (2010).

Figura 8 - Sistema de olfatometria para os bioensaios com o extrato do feromônio sexual de fêmeas de *Diabrotica speciosa*

3.4.4 Comportamento de pré-cópula

Os bioensaios foram realizados durante o horário de maior atividade sexual dos insetos (18 as 24h), sendo utilizados machos e fêmeas com idade propícia ao acasalamento (entre 3 e 6 dias), conforme estabelecido por Nardi (2010).

Casais de *D. speciosa* foram colocados em copos plásticos e durante 1 hora, dois parâmetros foram avaliados: (i) o comportamento dos insetos durante a pré-cópula (NARDI, 2010) (Figura 9), analisando-se a proporção de casais que executou cada etapa e (ii) o tempo decorrido entre o primeiro contato do casal até o momento da inserção do edeago.

Figura 9 - Casais de *Diabrotica speciosa* em copos plásticos para observação do comportamento de pré-cópula

3.5 Análise estatística

3.5.1 *Pseudaletia unipuncta* e *Macrosiphum euphorbiae*

Os dados referentes ao número de casais que copularam e ao número de fêmeas que realizaram o comportamento de chamamento foram analisados a partir do teste X^2 e do teste exato de Fisher. Comparou-se o comportamento dos insetos nas condições de pressão atmosférica em aumento e em queda com a pressão atmosférica estável.

3.5.2 *Diabrotica speciosa*

Os dados referentes ao número de machos que apresentaram atividade dentro do olfatômetro foram analisados a partir do teste X^2 e do teste exato de Fisher. Comparou-se o comportamento dos insetos nas condições de pressão atmosférica em aumento e em queda com a pressão atmosférica estável.

Os dados referentes à proporção de casais que executou cada etapa da pré-cópula foram analisados a partir do teste X^2 e do teste exato de Fisher. O tempo decorrido entre o primeiro contato do casal até o momento da inserção do edeago foi transformado em $\log(x+1)$, para atendimento das pressuposições da análise da variância. O delineamento foi inteiramente ao acaso, com 2 tratamentos (queda e estável) com número diferentes de repetições, e analisado pelo teste F

da ANOVA. Para ambas as situações, comparou-se o comportamento dos insetos nas condições de pressão atmosférica estável e pressão atmosférica variável.

4 RESULTADOS

4.1 *Pseudaletia unipuncta*

O comportamento de chamamento das fêmeas de *P. unipuncta* foi afetado pela variação da pressão atmosférica. Numa situação de queda da pressão barométrica somente 18,2% das fêmeas expuseram suas glândulas de feromônio (N= 32; $P<0,0001$), contra 91,9 e 94,4% das fêmeas em condições de estabilidade e elevação da pressão, respectivamente (N=74 e 48; $P=0,586$). (Figura 10).

Figura 10 - Frequência de fêmeas de *Pseudaletia unipuncta* que apresentaram comportamento de chamamento, sob condições de pressão atmosférica estável, de queda e de elevação de pressão (vide Metodologia para os parâmetros barométricos adotados nestas condições). *Indica diferença significativa, $P<0,0001$; ns – indica diferença não significativa, ambas comparativamente à pressão atmosférica estável

O comportamento de cópula de *P. unipuncta* também foi influenciado pelas variações da pressão atmosférica, porém, tanto nas situações de queda quanto de elevação da pressão. Enquanto que na condição de pressão atmosférica estável, 52,1% dos casais copularam, em queda e elevação da pressão, somente 21,4 e

20,0% dos casais copularam, respectivamente (N=71, 42 e 50; $P<0,0001$) (Figura 11).

Figura 11 - Frequência de casais de *Pseudaletia unipuncta* que copularam sob condições de pressão atmosférica estável, de queda e de elevação de pressão (vide Metodologia para os parâmetros barométricos adotados nestas condições). *Indica diferença significativa, $P<0,0001$; comparativamente à pressão atmosférica estável

4.2 *Macrosiphum euphorbiae*

O comportamento de chamamento em queda e aumento de pressão atmosférica diferiu significativamente da pressão estável. Em pressão atmosférica estável, 95,24% das fêmeas chamaram (N=21); em queda de pressão atmosférica, apenas 5,55% das fêmeas chamaram (N=36) e em aumento de pressão atmosférica, 10% das fêmeas chamaram (N=30) ($P<0,0001$) (Figura 12).

Figura 12 - Frequência de fêmeas de *Macrosiphum euphorbiae* que apresentaram comportamento de chamamento sob condições de pressão atmosférica estável, de queda e de elevação de pressão (vide Metodologia para os parâmetros barométricos adotados nestas condições). *Indica diferença significativa, $P < 0,0001$; comparativamente à pressão atmosférica estável

A variação de pressão atmosférica teve influência altamente significativa no comportamento de cópula de *M. euphorbiae*. Em pressão estável, 57,14% dos casais copularam ($N=21$). Entretanto, nenhum casal acasalou em queda e aumento de pressão atmosférica ($N= 36$ e 30 , respectivamente), mostrando que esses afídeos alteram bruscamente seu comportamento quando em variação de pressão atmosférica ($P < 0,0001$) (Figura 13).

Figura 13 - Frequência de casais de *Macrosiphum euphorbiae* que copularam sob condições de pressão atmosférica estável, de queda e de elevação de pressão (vide Metodologia para os parâmetros barométricos adotados nestas condições). *Indica diferença significativa, $P < 0,0001$; comparativamente à pressão atmosférica estável

4.3 *Diabrotica speciosa*

Nos bioensaios em olfatômetro, os machos se apresentaram ativos em pressão atmosférica estável e em aumento de pressão atmosférica (Figura 14). Em pressão estável, 87,1% dos machos se mostraram ativos ($N=70$, $P < 0,0001$), sendo que 62,3% responderam para o feromônio. Em aumento de pressão atmosférica, 86,7% apresentaram atividade ($N=40$, $P < 0,0008$), sendo que 84,35% responderam para o feromônio. Porém, em queda de pressão atmosférica, eles não apresentaram atividade; 81,4% dos machos testados permaneceram parados dentro do olfatômetro (inativos), ao invés de responderem ao feromônio da fêmea ($N=70$, $P < 0,0001$). Dos 13 machos que se demonstraram ativos, 8 se direcionaram para o extrato de fêmeas e 5 se direcionaram para o tratamento controle.

Figura 14 - Frequência de machos de *Diabrotica speciosa* que responderam ao feromônio sexual das fêmeas, sob condições de pressão atmosférica estável, de queda e de elevação de pressão (vide Metodologia para os parâmetros barométricos adotados nestas condições). *Indica diferença significativa, $P < 0,05$; ns – indica diferença não significativa, ambas comparativamente à pressão atmosférica estável

O comportamento de pré-cópula mostrou-se diferente em pressões atmosféricas variáveis. Em pressão atmosférica estável, o tempo médio do período pré-cópula foi de $16,24 \pm 3,07$ min; enquanto que em queda de pressão atmosférica, o tempo médio foi de $5,23 \pm 1,16$ min ($P < 0,01$) (Figura 15).

Em pressão atmosférica estável, a maioria dos machos que se distanciaram tornou a se aproximar da fêmea, em nova tentativa de copular. Já em queda de pressão atmosférica, os machos que se distanciaram não voltaram a se aproximar ($P < 0,05$).

Além disso, em queda de pressão atmosférica, os machos não realizaram algumas das etapas da pré-cópula, como a exploração e a antenação (Figura 16).

Figura 15 - Tempo de pré-cópula de *Diabrotica speciosa*, sob condições de pressão atmosférica estável e de queda de pressão (vide Metodologia para os parâmetros barométricos adotados nestas condições). *Indica diferença significativa, $P < 0,01$; comparativamente à pressão atmosférica estável

Etograma do comportamento de pré-cópula de *Diabrotica speciosa*

Figura 16 - Etograma de *Diabrotica speciosa*, sob condições de pressão atmosférica estável e de queda de pressão (vide Metodologia para os parâmetros barométricos adotados nestas condições). *Indica diferença significativa, $P < 0,05$; comparativamente à pressão atmosférica estável

5 DISCUSSÃO

Somente aqueles indivíduos que estão bem adaptados aos seus ambientes sobrevivem e deixam descendentes. As estruturas e funções dos organismos são produtos da mudança evolutiva numa população em resposta às características do ambiente com as quais cada organismo deve se confrontar, que atuam como forças seletivas (LANIER; BURNS 1978, STEINBERG et al., 1992; RICKLEFS, 2003; FOURNIER et al., 2005). Dessa forma, aqueles que tem a capacidade de detectar essas mudanças atmosféricas e de responder a elas tem grande vantagem adaptativa em relação àqueles que não possuem tal capacidade.

Neste trabalho foi possível demonstrar que as mudanças na pressão atmosférica influenciaram várias atividades do comportamento sexual nos insetos de três ordens, representados por *Pseudaletia unipuncta* (Haworth) (Lepidoptera: Noctuidae), *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae) e *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae).

P. unipuncta tiveram seu comportamento de chamamento e de cópula alterados pelas variações da pressão atmosférica. O comportamento de chamamento pelas fêmeas foi drasticamente reduzido em situações de queda da pressão atmosférica. Nesse caso, boa parte das fêmeas não realizou o comportamento característico de chamamento com a exposição da glândula de feromônio, permanecendo em repouso durante todo o período. Além disso, no momento propício para a ocorrência de cópulas nesta espécie, tanto nas condições de queda como de elevação da pressão atmosférica, a maioria dos casais permaneceram em repouso, reduzindo sensivelmente os encontros.

P. unipuncta é um inseto migratório, e aparentemente, está bem adaptado para detectar mudanças em fatores abióticos que indicam deterioração das condições ambientais ideais; como queda de temperatura e diminuição da fotofase, que poderiam desencadear uma resposta para migração (McNEIL, 1987; DUMOND; McNEIL, 1992; McNEIL et al., 2000; VIEIRA et al., 2003). Desse modo, a percepção de mudança na pressão atmosférica poderia contribuir para o ajuste do comportamento migratório de *P. unipuncta*.

De acordo com Drake e Farrow (1988), insetos alados podem ser arrastados por fortes chuvas, o que aumentaria o risco de morte. Reduzir o chamamento e possíveis encontros seguidos de cópulas, seria uma estratégia adequada para evitar uma exposição a condições de tempo adversas, especialmente se estas mudanças no tempo puderem ser antecipadas.

Diversos trabalhos relataram que a chuva é um fator importante de mortalidade para algumas espécies de mariposas, como *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) e *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), principalmente por remover os ovos das plantas hospedeiras NUESLY et al., 1991; KOBORI; AMANO, 2003). Knight e Knight (1978) notaram evidências de insetos sendo levados por chuvas e cessando atividades de vôo em condições de chuva, possivelmente associado à queda de pressão atmosférica (WESTBROOK; ISARD, 1999).

O aumento da pressão atmosférica não influenciou o comportamento de chamamento pela fêmea, provavelmente porque insetos desta espécie apresentam grande potencial de vôo quando comparados a outros noctuídeos migratórios (LUO et al., 2002). Particularmente, neste caso, os insetos poderiam se beneficiar das correntes de vento em seus vôos migratórios (ROSE et al., 1985; GATEHOUSE, 1997; CHAPMAN et al., 2008). O potencial de vôo de um inseto é uma característica evolucionária importante, pois permite que ele escape de um ambiente inapropriado (SOUTHWOOD, 1962; DINGLE, 1985). Já o comportamento de acasalamento foi afetado, provavelmente porque o ato da cópula é um momento em que os insetos ficam vulneráveis aos fatores abióticos, e uma rajada de vento poderia derrubá-los da planta hospedeira ou carregá-los para longe, podendo causar danos físicos ou mortalidade desses casais (RICKLEFS, 2003; SPEIGHT et al., 2009).

Para adultos de *M. euphorbiae* submetidos a situações de queda e elevação da pressão atmosférica, a quase totalidade das fêmeas não apresentaram o comportamento característico de chamamento (abdômen e terceiro par de pernas elevados), permanecendo em repouso durante todo o período. No comportamento

de cópula, todos os casais que foram observados não copularam sob condições de queda e elevação da pressão atmosférica.

Chuvas torrenciais podem derrubar insetos muito pequenos de suas plantas hospedeiras, como neste caso dos afídios, podem inclusive matá-los (SPEIGHT et al., 2009). Alguns estudos com parasitóides (Braconidea e Trichogrammatidae) mostraram que a queda de pressão atmosférica influencia o processo de busca por hospedeiros e a taxa de parasitismo fica bastante comprometida em dias que antecedem as chuvas (STEINBERG et al., 1992; van ROERMUND; van LENTEREN, 1995; BOURCHIER; SMITH, 1996; FOURNIER et al., 2005).

O aumento da pressão atmosférica pode estar relacionado à formação de ventos e os afídios, que possuem capacidade de voo limitada, utilizam-se de ventos para se dispersarem. A velocidade e a direção do voo são geralmente governadas pelo vento, mas eles podem exercer certo controle sobre a direção e distância percorrida “escolhendo” quando iniciar o voo (DIXON; MERCER, 1983; DIXON; HOWARD, 1986). Porém, se os ventos forem muito fortes, esses pequenos insetos correm o risco de serem carregados para muito longe, causando mortalidade caso caiam em áreas não adequadas (SPEIGHT et al., 2009). Assim, a capacidade de detectar as mudanças no tempo e permanecerem em repouso com aumento de pressão atmosférica sugere uma adaptação importante.

Goldanza e McNeil (2006) demonstraram que os machos de *M. euphorbiae* têm seu voo inibido por velocidades de vento acima de 2m/s, e que as fêmeas cessam o comportamento de chamamento em velocidades de vento acima de 4m/s.

Outros estudos também contataram a influência dos ventos no comportamento de insetos. Muitos pequenos insetos param de voar em velocidades de vento relativamente baixas, incluindo diferentes espécies de afídios (JUILLET, 1964; KRING, 1972; NEALIS, 1986; FINK; VÖLKL, 1995; MESSING et al., 1997; WEISSER et al., 1997; MARCHAND; McNEIL, 2000), porém, segundo Haine (1955), alguns afídios que alçam voo em condições mais calmas têm maior controle sobre sua direção de voo.

O início do vôo das abelhas *Melipona marginata* (Lepeletier), *Plebeia droryana* (Friese), *P. saiqui* (Holmberg) e *P. emerina* (Friese) (Hymenoptera: Apidae) também sofre influência da velocidade do vento, sendo bastante reduzido em velocidades por volta de 3m/s e inibido em velocidades acima de 5m/s (OLIVEIRA, 1973; KLEINERT-GIOVANNINI, 1982; KLEINERT-GIOVANNINI; IMPERATRIZ-FONSECA, 1986).

Fournier et al. (2005) mostrou que fêmeas de *Trichogramma pretiosum* e *T. evanescens* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) respondem às variações da pressão atmosférica, e não iniciam o vôo quando esta muda rapidamente.

Para *D. speciosa*, a resposta dos machos ao feromônio sexual das fêmeas foi sensivelmente alterada quando submetidos à queda da pressão atmosférica, em detrimento das condições de estabilidade e de elevação da pressão. Nesse caso, os machos permaneceram imóveis e não se dirigiram às fêmeas, mesmo na presença do feromônio. A busca pela fêmea é uma condição em que o macho normalmente se expõe aos fatores de risco, como predadores e condições climáticas adversas. Do mesmo modo, a cópula também é um momento de exposição, em que o casal fica vulnerável a predadores, chuvas e ventos (RICKLEFS, 2003; SPEIGHT et al., 2009).

No comportamento de pré-cópula de *D. speciosa*, quando em condições de queda da pressão atmosférica, o tempo despendido durante a corte foi bem inferior, e a sequência de passos suprimida em relação ao mesmo comportamento em condições de pressão atmosférica estável.

Em condições de campo, os machos realizam vôos baixos pela vegetação ou caminham por ela para encontrar a fêmea. Machos que respondem ao feromônio sexual da fêmea se orientam na direção da “pluma” de feromônio e alçam vôo (LEW; BALL, 1979). Dobson e Teal (1987) caracterizaram este vôo como sendo lento, pairando sobre a vegetação. O dossel da vegetação pode ter um importante efeito na velocidade do vento sentida pelos insetos que estão voando por entre as culturas (FOURNIER; BOIVIN, 2000). Por essa característica, ventos poderiam ser amenizados, visto que os machos estão de certo modo protegidos pela vegetação.

Assim, os machos não responderam ao aumento de pressão atmosférica da mesma forma que responderam à queda de pressão atmosférica.

Outros estudos já demonstraram os efeitos da pressão atmosférica sobre o comportamento de insetos, como a dispersão e a respostas a semioquímicos (LANIER; BURNS, 1978; LESKY; PROKOPY, 2003). A periodicidade de vôo varia muito entre as espécies de insetos (LEWIS; TAYLOR, 1964) e pode ser influenciada por fatores bióticos (alimentação, acasalamento e oviposição) e abióticos (intensidade da luz, temperatura, velocidade do vento e humidade) (CORBET, 1966). Mudanças drásticas na atividade de vôo são frequentemente causadas por fatores abióticos (WITKOWSKI et al., 1975, Van WOERKOM et al., 1983; GRANT; SEEVERS, 1990; ISARD et al., 1999).

Isard (1999, 2000 e 2004) testou a influência do clima na atividade de vôo de *D. virgifera virgifera* em campos de soja. Ele demonstrou que mudanças rápidas das condições climáticas, incluindo precipitação, quedas de temperatura e aumento da velocidade do vento, associadas com tempestades de verão, induzem essa espécie a cessar o vôo. Isard (1999, 2000 e 2004) e Walsh (2008) mostraram ainda que baixas capturas de *D. virgifera virgifera* em armadilhas no campo podem estar associadas a velocidades do vento mais altas que a média e/ou precipitação; aqueles com muita captura foram frequentemente dias com velocidades de vento moderadas a baixas, com temperaturas amenas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados aqui apresentados demonstram que o comportamento sexual dos insetos pode ser influenciado pelas variações da pressão atmosférica. Além disso, os resultados também sugerem que os insetos podem detectar e ajustar seu comportamento em função dessas mudanças, o que indicaria um valor adaptativo importante para sua sobrevivência. Tempestades acompanhadas por diferentes combinações de ventos, chuvas, variações bruscas de temperatura e de radiação solar são manifestações climáticas frequentemente associadas com queda na pressão atmosférica. Para os insetos, especialmente aqueles de tamanho diminuto, com limitada capacidade de vôo e de vida curta, estas condições de mau tempo são desfavoráveis e podem acarretar elevada mortalidade na sua população (Wellington, 1946a). Portanto, a capacidade de antecipar estes riscos promovendo a busca por abrigo, ou simplesmente a não exposição às condições adversas do mau tempo poderiam minimizar a morte destes organismos.

Para as três espécies estudadas, de três diferentes ordens, ou seja, *Pseudaletia unipuncta* (Haworth) (Lepidoptera: Noctuidae), *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae) e *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae), as alterações observadas no comportamento sexual foram muito semelhantes, especialmente quando associadas com a queda da pressão atmosférica. Esses resultados são reveladores sob vários aspectos. Primeiro, ajudam a explicar, ao menos em parte, as variações diárias e a inconsistência nas respostas dos insetos aos bioensaios comportamentais conduzidos em condições controladas de laboratório. A pressão atmosférica é um fator abiótico presente em qualquer ambiente, e como outros fatores como temperatura, umidade e luz, deveria ser anotado para que a interpretação dos resultados seja o mais fidedigna possível. Segundo, esses resultados poderiam ser também extrapolados para o campo, em situações onde a eficiência de um inseto ou de seu comportamento esteja sendo mensurada. Um caso típico seria a avaliação da capacidade de parasitismo quando da liberação de um inimigo

natural em programas de controle biológico, num curto espaço de tempo, já que estes podem ser influenciados pela percepção da mudança de tempo. Outra possibilidade seria o cuidado de se avaliar a resposta de determinados insetos aos feromônios e atraentes sob as mesmas mudanças de tempo devido às alternâncias da pressão atmosférica durante os experimentos.

Muitos outros aspectos para uma melhor compreensão do comportamento dos insetos sob efeito das variações da pressão atmosférica certamente ainda devem ser explorados. Contudo, parece certo que a pressão atmosférica exerce um papel muito mais importante na vida dos insetos, do que tem sido referida até a presente data.

REFERÊNCIAS

ANKNEY, P.F. A note on barometric pressure and behavior in *Drosophila pseudoobscura*. **Behavior Genetics**, New York, v. 14, n. 3, p. 315-317, 1984.

ÁVILA, C.J. **Técnica de criação e influência do hospedeiro e da temperatura no desenvolvimento de *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera: Chrysomelidae)**. 1999. 103 p. Tese (Doutorado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

ÁVILA, C.J.; MILANEZ, J.M. Larva alfinete. In: SALVADORI, J.R.; ÁVILA, C.J.; SILVA, M.T.B. **Pragas de solo no Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA, 2004. p. 345-378.

ÁVILA, C.J.; TABAI, A.C.P.; PARRA, J.R.P. Comparação de técnicas para criação de *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae) em dietas natural e artificial. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 257-267, 2000.

BEIRNE B.P. Pest insects of annual crop plants in Canada. I. Lepidoptera. II. Diptera. III. Coleoptera. **Memoirs of the Entomological Society of Canada**, Ottawa, v. 78, p. 98-105, 1971.

BELL, W.J.; KIPP, L.R.; COLLINS, R.D. The role of chemo-orientation in search behavior. In: CARDÉ, R.T.; BELL, W.J. (Ed.). **Chemical ecology of insects 2**. New York: Chapman and Hall, 1995. p. 105-152.

BLACKMAN, R.L.; EASTOP, V.F. *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas). In: _____. (Ed.). **Aphids on the world's crops: an identification and information guide**. Chichester; New York; Brisbane; Toronto; Singapore: John Wiley, 1984. p. 243-258.

_____. (Ed.). **Aphids on the world's crops: an identification and information guide**. Chichester: John Wiley, 2000. 466 p.

BOFF, M.I.C.; GANDIN, C.L. Principais pragas da cultura da melancia e seu controle. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 5, p. 39-41, 1992.

BOURCHIER, R.S.; SMITH, S.M. Influence of environmental conditions and parasitoid quality on field performance of *Trichogramma minutum*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 80, p. 461-468, 1996.

BREELAND, S. Biological studies on the armyworm, *Pseudaletia unipuncta* (Haworth), in Tennessee (Lepidoptera: Noctuidae). **Journal of the Tennessee Academy of Science**, Nashville, v. 33, p. 263-347, 1958.

BUES, R.; POITOUT, S.; ANGLADE, P.; ROBIN, J.C. Cycle évolutif et hibernation de *Mythimna* (Syn. *Pseudaletia*) *unipuncta* Haw. (Lep. Noctuidae) dans le sud de la France. **Acta Oecologica**, Paris, v. 7, p. 151–156, 1986.

CASE, E.M.; HALDANE, J.B.S. Human physiology under high pressure. I. Effects of nitrogen, carbon dioxide, and cold. **Journal of Hygiene**, Cambridge, v. 41, p. 225-249, 1941.

CHADWICK, L.E.; WILLIAMS, C.M. The effects of atmospheric pressure and composition on the flight of *Drosophila*. **The Biological Bulletin**, Woods Hole, v. 97, n. 2, p. 115-137, 1949.

CHAPMAN, J.W.; REYNOLDS, D.R.; MOURITSEN, H.; HILL, J.K.; RILEY, J.R.; SIVELL, D.; SMITH, A.D.; WOIWOD, I.P. Wind selection and drift compensation optimize migratory pathways in a high-flying moth. **Current Biology**, London, v. 18, p. 514-518, 2008.

CONNER, W.E.; WEBSTER, R.P.; ITAGAKI, H. Calling behaviour in arctiid moths: The effects of temperature and wind speed on the rhythmic exposure of the sex attractant gland. **Journal of Insect Physiology**, Oxford, v. 31, p. 815–820, 1985.

CORBET, P.S. The role of rhythms in insect behaviour. **Symposia of the Royal Entomological Society of London**, London, v. 3, p. 13-28, 1966.

DINGLE, H. Migration and life histories. **Contributions in Marine Science**, Port Aransas, v. 27, p. 27-42, 1985.

DIXON, A.F.G.; HOWARD, M.T. Dispersal in aphids, a problem in resource allocation. In: DANTHANARYANA, W. (Ed.). **Insect flight, dispersal, and migration**. Berlin: Springer, 1986. p. 145-151.

DIXON, A.F.G.; MERCER, D.R. Flight behavior in the sycamore aphid - factors affecting take-off. **Entomologia Experimentalis Et Applicata**, Dordrecht, v. 33, n. 1, p. 43-49, 1983.

DOBSON, I.D.; TEAL, P.E.A. Field studies of the temporal response patterns of male *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte and *D. barberi* Smith and Lawrence to 8R-methyl-2R-decyl propanoate. **Physiological Entomology**, Oxford, v. 11, p. 405-410, 1986.

DRAKE, V.A.; FARROW, R.A. The influence of atmospheric structure and motions on insect migration. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 33, p. 183-210, 1988.

DUMONT, S.; McNEIL, J.N. Responsiveness of *Pseudaletia unipuncta* (Lepidoptera: Noctuidae) males, maintained as adults under different temperature and photoperiodic conditions, to female sex pheromone. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 18, p. 1797-1807, 1992.

EASTOP, V.F. Worldwide importance of aphids as virus vectors. In: HARRIS, K.F.; MARAMOROSCH, K. (Ed.). **Aphis as virus vectors**. New York: Academic Press, 1977. p. 3-62.

ELKINTON, J.S.; CARDÉ, R.T. Odor dispersion. In: BELL, W.J.; CARDÉ, R.T.(Ed.). **Chemical ecology of insects**. Sunderland: Sinauer Associates, 1984. p. 73-91.

FINK, U.; VÖLKL, W. The effect of abiotic factors on foraging and oviposition success of the aphid parasitoid, *Aphidius rosae*. **Oecologia**, Berlin, v. 103, p. 371-378, 1995.

FOOTTIT, R.G.; MAW, H.E.L.; PIKE, K.S.; MESSING, R.H. The aphids (Hemiptera: Aphididae and Adelgidae) of Hawai'i: annotated list and key to species of an adventive fauna. **Pacific Science**, v. 66, n. 1, June 2011 (Early view). Disponível em: <<http://pacificscience.files.wordpress.com/2011/06/pac-sci-early-view-66-1-1.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2011

FOURNIER, F.; BOIVIN, G. Comparative dispersal of *Trichogramma evanescens* and *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in relation to environmental conditions. **Environmental Entomology**, College Park, v. 29, p. 55-63, 2000.

FOURNIER, F.; PELLETIER, D.; VIGNEAULT, C.; GOYETTE, B.; BOIVIN, G. Effect of barometric pressure on flight initiation by *Trichogramma pretiosum* and *Trichogramma evanescens* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Environmental Entomology**, College Park, v. 34, n. 6, p. 1534-1540, 2005.

GASSEN, D.N. **Insetos subterrâneos prejudiciais às culturas no sul do Brasil**. Passo Fundo, EMBRAPA, CNPT, 1989. 49 p. (EMBRAPA-CNPT, Documento, 13.)

_____. **Pragas associadas à cultura do milho**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1994. 92 p.

GATEHOUSE, A.G. Behavior and ecological genetics of wind-borne migration by insects. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 42, p. 475-502, 1997.

GOLDANSAZ, S.H.; MCNEIL, J.N. Calling behaviour of the potato aphid *Macrosiphum euphorbiae* oviparae under laboratory and field conditions. **Ecological Entomology**, London, v. 28, p. 291-298, 2003.

GOLDANSAZ, S.H.; DEWHIRST, S.; BIRKETT, M.A.; HOOPER, A.M.; SMILEY, D.W.M.; PICKETT, J.A.; WADHAMS, L.; MCNEIL, J.N. Identification of two sex pheromone components of the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas). **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 30, p. 819-834, 2004.

_____. Effect of wind speed on the pheromone-mediated behavior of sexual morphs of the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) under laboratory and field conditions. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 32, p. 1719–1729, 2006.

GRANT, R.H.; SEEVERS, K.P. The vertical movement of adult western corn rootworms (*Diabrotica virgifera virgifera*) relative to the transport of momentum and heat. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 49, p. 191-203, 1990.

GUPPY, J.C. Life history and behaviour of the armyworm, *Pseudaletia unipuncta* (Haw.) (Lepidoptera: Noctuidae), in Eastern Ontario. **The Canadian Entomologist**, Ottawa, v. 93, n.12, p. 1141-1153, 1961.

HAINE, E. The flight activity of the sycamore aphid *Drepanosiphum platanoides* Schir. (Hemiptera: Aphididae) **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 24, p. 388-394, 1955.

HENSON, W.R. Mass flights of the spruce budworm. **The Canadian Entomologist**, Ottawa, v. 83, p. 240-240, 1951.

HURTREL, B.; THIERY, D. Modulation of flight activity in *Lobesia botrana* Den. & Schiff. (Lepidoptera: Tortricidae) females studied in a wind tunnel. **Journal of Insect Behavior**, New York, v. 12, n. 2, p. 199-211, 1999.

ISARD, S.A.; NASSER, M.A.; SPENCER, J.L.; LEVINE, E. The influence of weather on western corn rootworm flight activity at the borders of a soybean field in eastcentral Illinois. **Aerobiologia**, São Paulo, v. 15, p. 95-104, 1999.

ISARD, S.A.; SPENCER, J.L.; MABRY, T.R.; LEVINE, E. Influence of Atmospheric Conditions on High-Elevation Flight of Western Corn Rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). **Environmental Entomology**, College Park, v. 33, n. 3, p. 650-656, 2004.

ISARD, S.A.; SPENCER, J.L.; NASSER, M.A.; LEVINE, E. Aerial movement of western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae): diel periodicity of flight activity in soybean fields. **Environmental Entomology**, College Park, v. 29, p. 226-234, 2000.

JUILLET, J.A. Influence of weather on flight activity of parasitic Hymenoptera. **Canadian Journal of Zoology**, Ottawa, v. 42, p. 1133-1141, 1964.

KAAE, R.S.; SHOREY, H.H. Influence of wind velocity on sex pheromone releasing behaviour of *Trichoplusia ni* females. **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v. 65, p. 436-440, 1972.

KENNEDY, J.S.; DAY, M.F.; EASTOP, V.F.A. **A conspectus of aphids as vectors of plants viruses**. London: Commonwealth Institute of Entomology, 1962. 114 p.

KLEINERT-GIOVANNINI, A. The influence of climatic factors on flight activity of *Plebeia emerina* Friese (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae) in winter. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 1-13, 1982.

KLEINERT-GIOVANNINI, A.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. Flight activity and responses to climatic conditions of two subspecies of *Melipona marginata* (Apidae, Meliponinae). **Journal of Apicultural Research**, London, v. 25, p. 3-8, 1986.

KNIGHT, N.C.; KNIGHT, C.A. Some observations on foreign material in hailstones. **Bulletin of the American Meteorology Society**, New York, v. 59, p. 282–286, 1978.

KOBORI, Y.; AMANO, H. Effect of rainfall on a population of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 38, n. 2, p. 249-253, 2003.

KRING, J.B. Flight behaviour of aphids. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 17, p. 461– 492, 1972.

KRYSAN, J.L. Introduction: biology, distribution, and identification of pest *Diabrotica*. In: KRYSAN, J.L.; MILLER, T.A. **Methods for the study of pest Diabrotica**. New York: Springer-Verlag, 1986. chap. 1, p. 1-23.

LANGE, W.H.; BRONSON, L. Insect pests of tomatoes. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 26, p. 345-371, 1981.

LANIER, G.N.; BURNS, B.W. Barometric flux. Effects on the responsiveness of bark beetles to aggregation attractants. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 4, p. 139-147, 1978.

LESKY, T.C.; PROKOPY, R.J. Influence of barometric pressure on odor discrimination and oviposition by adult plum curculios (Coleoptera: Curculionidae). **European Journal Entomology**, London, v. 100, p. 517-520, 2003.

LEW, A.C.; BALL, H.J. The mating behavior of the. western corn rootworm *Diabrotica virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Annals of the Entomological Society of America**, Gainesville, v. 72, n. 3, p. 15-15, 1979.

LEWIS, T.; TAYLOR, L.R. Diurnal periodicity of flight by insects. **Transactions of the Royal Entomological Society of London**, London, v. 116, p. 393-476, 1964.

LUO, L.Z.; JOHNSON, S.J.; HAMMOND, A.M.; LOPEZ, J.D.; GEAGHAN, J.P.; BEERWINKLE, K.R.; WESTBROOK, J.K. Determination and consideration of flight potential in a laboratory population of true armyworm (Lepidoptera : Noctuidae). **Environmental Entomology**, College Park, v. 31, n.1, p. 1-9, 2002.

MACGILLIVARY, M.E.; ANDERSON, G.B. The effect of photoperiod and temperature on the production of gamic and agamic forms in *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas). **Canadian Journal Zoology**, Ottawa, v. 42, p. 491-510, 1964.

MAGNAN, A., **La locomotion chez les animaux**. I. Le vol des insectes. Paris: Hermann et Cie, 1934. 360 p.

MARCHAND, D.; MCNEIL, J.N. Effects of wind speed and atmospheric pressure on mate searching behavior of the aphid parasitoid *Aphidius nigripes* (Hymenoptera: Aphidiidae). **Journal of Insect Behavior**, New York, v. 13, p. 187-199, 2000.

MARQUES, G.B.C.; ÁVILA, C.J.; PARRA, J.R.P. Danos causados por larvas e adultos de *Diabrotica speciosa* (Coleoptera: Chrysomelidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, p. 1983-1986, 1999.

MCNEIL, J.N. The true armyworm, *Pseudaletia unipuncta*: A victim of the pied piper or a seasonal migrant? **Insect Science and its Application**, Elmsford, v. 8, p. 591-597, 1987.

MCNEIL, J.N.; LAFORGE, M.; BKDARD, C.; CUSSON, M. Juvenile hormone production and sexual maturation in true armyworm, *Pseudaletia unipuncta* (HAW.) (Lepidoptera: Noctuidae): a comparison of migratory and non-migratory populations. **Archives of Insect Biochemistry and Physiology**, New York, v. 32, p. 575-584, 1996.

MCNEIL, J.N.; MILLER, D.; LAFORGE, M.; CUSSON, M. The biosynthesis of Juvenile Hormone, its degradation and titres in females of the true armyworm: a comparison of migratory and non-migratory populations. **Physiological Entomology**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 103-111, 2000.

MESSING, R.H.; KLUNGNESS, L.M.; JANG, E.B. Effects of wind movement of *Diachasmimorpha longicaudata*, a parasitoid of tephritid fruit flies, in a laboratory flight tunnel. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 82, p. 147-152, 1997.

METCALF, C.L.; FLINT, W.P. **Destructive and useful insects their habits and control**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1962. 1200 p.

MILANEZ, J.M. **Técnicas de criação e bioecologia de *Diabrotica speciosa* (Germar, 1824) (Coleoptera : Chrysomelidae)**. 1995. 102 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

MILLAR, J.G.; HAYNES, K.F. **Methods in chemical ecology**. New York: Chapman & Hall, 1998. 420 p.

MILLER, C.A.; MCDUGALL, G.A. Spruce budworm moth trapping using virgin females. **Canadian Journal of Zoology**, Ottawa, v. 51, p. 853-858, 1973.

MURLIS, J.; ELKINTON, J.S.; CARDÉ, R.T. Odor plumes and how insects use them. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 37, p. 505-532, 1992.

NARDI, C. **Estímulos olfativos envolvidos no comportamento sexual e na seleção hospedeira de *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae)**. 2010. 105 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

NEALIS, V.G. Responses to host kairomones and foraging behaviour of the insect parasite *Cotesia rubecula* (Hymenoptera: Braconidae). **Canadian Journal of Zoology**, Ottawa, v. 64, p. 2393-2398, 1986.

NUESSLY, G.S.; HARTSTACK, A.W.; WITZ, J.A.; STERLING, W.L. Dislodgment of *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs from cotton due to rain and wind - a predictive model. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 55, n. 1/2, p. 89-102, 1991.

OLIVEIRA, C.R.B.; MARINHO, V.L.A.; ASTOLFI, F.S.; AZEVEDO, M.; CHAGAS, C.M.; KITAJIMA, E.W. Purification, serology and some properties of the purple granadilla (*Passiflora edulis*) mosaic virus. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 19, p. 455-462, 1994.

OLIVEIRA, M.A.C. **Algumas observações sobre a atividade externa de *Plebeia saiqui* e *Plebeia droryana***. 1973. 79 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1973.

RADCLIFFE, E.B. Insect pests of potato. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 27, p. 173-204, 1982.

RAGUSO, R.A.; OJEDA-AVILA, T.; DESAI, S.; JURKIEWICZ, M.A.; WOODS, H.A. The influence of larval diet on adult feeding behaviour in the tobacco hornworm moth, *Manduca sexta*. **Journal of Insect Physiology**, Oxford, v. 53, p. 923-932, 2007.

REININK, K.; DIELEMAN, F.L. Resistance in Lettuce to the Leaf Aphids *Macrosiphum euphorbiae* and *Uroleucon sonchi*. **Annals of Applied Biology**, Warwixk, v. 115, n. 3, p. 489-498, 1989.

RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 2003. 546 p.

ROERMUND, H.J.W.; LENTEREN, J.C. VAN Residence times of the whitefly parasitoid *Encarsia formosa* Gahan (Hym., Aphelinidae) on tomato leaflets. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 119, p. 465-471, 1995.

ROITBERG, B.D.; SIRCOM, J.; ROITBERG, C.A.; ALPHEN, J.J.M.; MANGEL, M. Life expectancy and reproduction. **Nature**, London, v. 364, p. 108, 1993.

ROSE, D.J.W.; PAGE, W.W.; DEWHURST, C.F.; RILEY, J.R.; REYNOLDS, D.R.; EDGLEY, D.E.; TUCKER, M.R. Downwind migration of the African army worm moth, *Spodoptera exempta*, studied by mark-and-capture and by radar. **Ecological Entomology**, Malden, v. 10, n. 3, p. 299-313, 1985.

ROUSSE, P.; GOURDON, F.; ROUBAUD, M.; CHIROLEU, F.; QUILICI, S. Biotic and abiotic factors affecting the flight activity of *Fopius arisanus*, an egg-pupal parasitoid of fruit fly pests. **Environmental Entomology**, College Park, v. 38, n. 3, p. 896-903, 2009.

SHANDS, W.A.; SIMPSON, G.W.; MUESEBECK, C.F.W.; WAVE, H.E. **Parasites of potato-infesting aphids in northern Maine**. Maine: The Maine Agricultural Experiment Station, 1965. 77 p. (Technical Bulletin, T-19).

SHOREY, H.H.; HALE, R.L. Mass rearing of the larvae of nine noctuid species on a simple artificial medium. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 58, p. 522-524, 1965.

SIMÕES, A.M.M.A. **Desenvolvimento do parasitóide *Exorista larvarum* (L.) (Diptera- Tachinidae) em três noctuídeos comuns no Arquipélago dos Açores**. 2001. 107 p. Tese de (Doutorado em Entomologia) - Angra do Heroísmo: Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores, Açores, 2001.

SPEIGHT, M.R.; HUNTER, M.D.; WATT, A.D. **Ecology of insects: concepts and applications**. 2nd ed. West Sussex: Wiley-Blackwell, 2009. 640 p.

SOUTHWOOD, T.R.E. Migration of terrestrial arthropods in relation to habitat. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v. 37, n. 2, p. 171-214, 1962.

STEINBERG, S.; DICKE, M.; VET, L.E.M.; WANNINGEN, R. Response of the braconid parasitoid *Cotesia* (= *Apanteles*) *glometara* to volatile infochemicals: effects of bioassay set-up, parasitoid age and experience and barometric flux. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 63, p. 163-175, 1992.

TAVARES, J. *Mythimna unipuncta* Haw. e seus prejuízos nas pastagens dos Açores. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE ENTOMOLOGIA, 2., 1981, Funchal. Funchal: Bol. Mus. Mun. Sup, 1981. n. 14, p. 28-32.

TRUMBLE, J.T.; OATMAN, E.R.; VOTH, V. Thresholds and sampling for aphids in strawberries. **California Agriculture**, Berkeley, v. 37, n. 11/12, p. 20-21, 1983.

VAN WOERKOM, G.J.; TURPIN, F.T.; BARRETT JR., J.R. Wind effect on western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) flight behavior. **Environmental Entomology**, College Park, v. 12, p. 196-200, 1983.

VIEIRA, V.; PINTUREAU, B.; TAVARES, J.; MCNEIL, J.N. Differentiation and gene flow among island and mainland populations of the true armyworm, *Pseudaletia unipuncta* (Haworth) (Lepidoptera: Noctuidae) **Canadian Journal of Zoology - Revue Canadienne de Zoologie**, Ottawa, v. 81, n. 8, p. 1367-1377, 2003.

WALSH, G.C.; WEBER, D.C.; MATTIOLI, F.; HECK, G. Qualitative and quantitative responses of *Diabrotica* (Coleoptera: Chrysomelidae) to cucurbit extracts linked to species, sex, weather and deployment method. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 132, p. 205-215, 2008.

WEISSER, W.W.; VÖLKL, W.; HASSEL, M.P. The importance of adverse weather conditions for behaviour and population ecology of an aphid parasitoid. **Journal of Animal Ecology**, Malden, v. 66, p. 386-400, 1997.

WELLINGTON, W.G. The effects of variations in atmospheric pressure upon insects. **Canadian Journal of Research**, Ottawa, v. 24, p. 51-70, 1946a.

_____. Some reactions of muscoid Diptera to changes in atmospheric pressure. **Canadian Journal of Research**, Ottawa, v. 24, p. 105-117, 1946b.

WESTBROOK, S.A.; ISARD, J.K. Atmospheric scales of biotic dispersal. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, p. 263-274, 1999.

WITKOWSKI, J. F.; OWENS, J.G.; TOLLEFSON, J.J. Diel activity and vertical flight distribution of adult western corn rootworms in Iowa cornfields. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 68, p. 351-352, 1975.

ZARBIN, P.H.G.; FERREIRA, J. .B.; LEAL, W.S. Metodologias gerais empregadas no isolamento e identificação estrutural de feromônios de insetos. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 263-268, 1999.

ZETTEL, J. The significance of temperature and barometric pressure changes for the snow surface activity of *Isotoma hiemalis* (Collembola). **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 40, n. 12, p. 1369-1372, 1984.