

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DISPERSÃO DE MACHOS DE *Diatraea saccharalis* (Fabricius)
(Lepidoptera: Crambidae) EM CANA-DE-AÇÚCAR.**

Daniel Ferreira Caixeta
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DISPERSÃO DE MACHOS DE *Diatraea saccharalis* (Fabricius)
(Lepidoptera: Crambidae) EM CANA-DE-AÇÚCAR.**

Daniel Ferreira Caixeta

Orientador: Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Entomologia Agrícola).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Fevereiro de 2010

C138d Caixeta, Daniel Ferreira
Dispersão de machos de *Diatraea saccharalis* (Fabricius)
(Lepidoptera: Crambidae) em cana-de-açúcar / Daniel Ferreira
Caixeta. – – Jaboticabal, 2010
xii, 48 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010
Orientador: Odair Aparecido Fernandes
Banca examinadora: José Alexandre Freitas Barrigossi, Leila
Lucci Dinardo-Miranda
Bibliografia

1. Broca-da-cana. 2. Voo. 3. Refúgio.
I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 595.78:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: DISPERSÃO DE MACHOS DE *Diatraea saccharalis* (FABRICIUS)
(LEPIDOPTERA: CRAMBIDAE) EM CANA-DE-AÇÚCAR.

AUTOR: DANIEL FERREIRA CAIXÊTA
ORIENTADOR: Prof. Dr. ODAIR APARECIDO FERNANDES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA
(ENTOMOLOGIA AGRÍCOLA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ODAIR APARECIDO FERNANDES
Departamento de Fitossanidade / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. LEILA LUCI DINARDO-MIRANDA
Estação de Pesquisa Em Cana-De-Açúcar / Instituto Agronômico de Campinas / Ribeirão Preto/SP

Prof. Dr. JOSÉ ALEXANDRE FREITAS BARRIGOSI
Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão / Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária /
Santo Antonio de Goiás/GO

Data da realização: 22 de fevereiro de 2010.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

DANIEL FERREIRA CAIXETA – Nascido em 15 de setembro de 1985, na cidade de Pires do Rio, GO, filho de Luzia Maria Ferreira Caixeta e Divino Golçalves Caixeta. Em 2003, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Goiás-UFG, em Goiânia, e recebeu o título de Engenheiro Agrônomo em fevereiro de 2008. Trabalhou durante toda a graduação com entomologia agrícola, acumulando mais de 4500 horas em estágios na área. Atuou como estagiário no departamento de entomologia agrícola da UFG, sob orientação da Prof. Dr. (a) Cecilia Czepak, desenvolvendo projetos em parceria com diversas multinacionais. Foi bolsista de iniciação científica do CNPQ-PIBIC durante três anos na Embrapa Arroz e Feijão, sob orientação do Prof. Dr. José Alexandre Freitas Barrigossi. Em 2008 ingressou no curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Entomologia Agrícola) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – UNESP sob orientação do Prof. Dr. Odair Aparecido Fernandes, desde então, desenvolveu estudos sobre a dispersão de *Diatraea saccharalis* na cultura da cana-de-açúcar.

A meu pai Divino e minha mãe Luzia, pela excelente educação que me deram, pelo apoio sempre presente em minhas decisões, pelos conselhos, por serem meu alicerce.

Sem o amor de vocês eu nunca teria chegado tão longe, nada que eu faça ou diga irá retribuir o que fizeram por mim.

Dedico

À minha noiva Lidiane, pelo amor, carinho e apoio incondicional em momentos de dificuldade. Pelas palavras, gestos, e sorrisos que iluminaram meu caminho até aqui.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus, meu guia, meu pai, meu amigo, aquele que semeou o desejo de vencer em meu coração e que nutriu meus sonhos até aqui, sem ti senhor, nada disso seria realidade.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

Ao Prof. Dr. Odair A. Fernandes, pela orientação, pelos ensinamentos e confiança depositada em meu trabalho.

Ao Dr. José Alexandre Freitas Barrigossi, pela amizade, e pelos valorosos ensinamentos que tanto contribuíram para que eu me tornasse o profissional que sou hoje.

Aos Professores do Departamento de Fitossanidade, e ao professor Antonio Sergio Ferraudó, pelos conhecimentos transmitidos, atenção dispensada e pela contribuição em minha formação.

A toda equipe de colaboradores do Laboratório de Ecologia Aplicada (APECOLAB) da FCAV/UNESP. Os estagiários da graduação: Matheus de Moraes, Matheus Vilhena, Lidiane Pavani, Bruno Gonçalves, Thais de Oliveira. Às estagiárias da FATEC: Alana Marques, Maibi Alves, Juliana Makino, Renata Miassi, Aline Gerbasi. Ao nosso faz tudo, e competente amigo Wellington Secatto (Nene), e à nossa nova funcionária e grande amiga Márcia Macri.

Aos grandes amigos da pós-graduação, MSc. Juliana Alonso, MSc. José Antonio de Souza Rossato Junior, Andreia Varella, Edson Corbo, Dra. Elis Cristine

Vilarinho, Dra.Tatiana Carneiro, Lindsay Vivian, e, em especial, a dois parceiros que fizeram esforços no mínimo insanos para que este trabalho pudesse ser realizado, Alexandre Carlos Menezes Neto, e Tiago Rodrigo Lohmann.

Ao Grupo São Martinho, pelo enorme apoio no desenvolvimento deste estudo, em especial à Josy Prado, e às meninas do laboratório de criação de *D. saccharalis*.

Ao grande suporte dado pelo Eng. Agrônomo Paulo Eduardo Garcia Junior, pela concessão da área para a realização deste estudo, pelas conversas muito instrutivas, e ao “Quim”, dedicado funcionário da fazenda.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A broca da cana-de-açúcar.....	3
2.1.1. Danos e importância econômica.....	3
2.1.2. Aspectos biológicos e comportamento reprodutivo	4
2.1.3. Dispersão.....	5
2.2. Estudos de dispersão.....	6
2.2.1. Importância da marcação dos insetos	6
2.2.2. Fatores que influenciam o voo.....	6
2.2.3. Manejo de cultivos geneticamente modificados.....	7
III. MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1. Ensaio 1 e 2	9
3.1.1. Marcação de <i>D. saccharalis</i> e implantação da criação.....	9
3.1.2. Manejo das larvas e pupas	10
3.1.3. Abrigos de liberação e armadilhas de captura.....	11
3.1.4. Instalação dos ensaios	12
3.1.5. Liberação e captura dos machos.....	14
3.2. Ensaio 3	15
3.2.1. Implantação da criação.....	15
3.2.2. Instalação das armadilhas no campo e liberação dos adultos	15
3.3. Análise estatística	17
3.3.1. Captura diária e influência de fatores climáticos.....	17
3.3.2. Influência da direção do vento na dispersão	18

3.3.3. Ajuste de modelo matemático.....	19
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1. Liberação e captura	21
4.2. Influência dos fatores climáticos na captura	25
4.3. Influência da direção do vento na dispersão.....	27
4.4. Ajuste de modelos na dispersão	34
4.5. Implicações no manejo de resistência de OGM.....	39
V. CONCLUSÕES.....	41
VI. REFERÊNCIAS	42

DISPERSÃO DE MACHOS DE *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae) EM CANA-DE-AÇÚCAR.

Resumo - A broca-da-cana, *Diatraea saccharalis* (Fabr.), é a uma das pragas mais importantes da cana-de-açúcar no Brasil. Para o sucesso na utilização de plantas geneticamente modificadas visando o controle deste inseto, faz-se necessário conhecer sua dispersão. Estudos da dinâmica de vôo também podem ajudar na compreensão do comportamento do inseto, e de suas interações ecológicas. O estudo da dispersão de *D. saccharalis* foi possível através da marcação, liberação e captura dos machos adultos. A marcação foi realizada por meio da incorporação de corante lipossolúvel à dieta das larvas. As armadilhas de feromônio foram dispostas nos talhões de cana-de-açúcar nos sentidos norte, sul, leste e oeste, circundando o ponto de liberação. Os resultados obtidos mostram que mais de 45 % dos machos marcados capturados permaneceram nas áreas mais próximas ao ponto de liberação. Fatores climáticos como a temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação não interferem decisivamente na captura dos machos liberados e dos machos do campo. A direção do vento exerce um papel fundamental na dispersão de *D. saccharalis*, uma vez que a maioria dos insetos voou a favor do vento. O modelo mais adequado para explicar a relação entre a distância de vôo e o número de indivíduos capturados é dado por $y = a^2 / (1 + (2a^{1,8}bx))^2$. Com isso, para o manejo de resistência de *D. saccharalis* em cultivos de cana-de-açúcar geneticamente modificada expressando proteínas de *Bacillus thuringiensis* Berliner, deve se manter no máximo 800 m de distância entre as áreas de refúgio.

Palavras-chave: broca-da-cana, vôo, direção do vento, modelos, refúgio

**DISPERSAL OF *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae)
MALES IN SUGARCANE.**

Abstract - The sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (Fabr.), is one of the most important sugarcane pests in Brazil. For a successful utilization of genetically modified crops aiming at the control of this insect, it is necessary to know its dispersal. Studies of flight dynamics can also help understand the insect's behavior and its ecological interactions. The study of *D. saccharalis* dispersal was possible through labeling, releasing and capturing adult males. Labeling was performed by incorporating oil soluble dyes into the larval diet. The pheromone traps were placed in a sugarcane field following the cardinal directions (North, South, East, West) around the release site. The results showed that more than 45 % of the labeled males were captured closer to the release site. Climatic factors such as temperature, relative humidity, wind speed and rain do not affect decisively in the release or wild males capture. The wind direction is important in *D. saccharalis* dispersal, once the majority of insects flew towards the wind. The most adequate model to explain the relationship between flight distance and number of captured insects is $y = a^2 / (1 + (2a^{1.8}bx))^2$. Thus, for resistance management of *D. saccharalis* in genetically modified sugarcane expressing *Bacillus thuringiensis* Berliner proteins, the refugia sites should be kept at most 800 m apart.

Key words: sugarcane borer, flight, wind direction, models, refugia

I. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com aproximadamente 7,53 milhões de hectares plantados na safra 2009/2010 e previsão de moagem de 612,21 milhões de toneladas. Do total de cana esmagada, 45,1% foi destinada à produção de açúcar e 54,9% foi destinada a produção de álcool (CONAB, 2010). O setor sucroalcooleiro brasileiro fatura cerca de US\$ 23 bilhões por ano (UNICA, 2009).

A cultura da cana-de-açúcar é alvo de vários insetos-praga que atacam a parte aérea da planta, com destaque para *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae), conhecida como broca da cana-de-açúcar. Devido à sua ampla distribuição em todo o território nacional e aos prejuízos causados, é considerada uma das pragas mais importantes da cana-de-açúcar no Brasil (MACEDO & BOTELHO, 1988; DINARDO-MIRANDA, 2008).

Várias técnicas podem ser utilizadas no controle da broca da cana-de-açúcar. Todavia, para que tenham sucesso, faz-se necessário conhecer os hábitos do inseto, seu comportamento de cópula, sua habilidade de voo e seu ciclo biológico. Isso permite que a tomada de decisão seja eficaz no manejo da praga. Estudos da dinâmica de dispersão ajudam na compreensão do comportamento do inseto, e suas interações ecológicas (TURCHIN & THOENY, 1993; HOLLAND et al., 2006).

A relação entre a movimentação dos insetos e fatores meteorológicos tem sido alvo de diversos estudos nos últimos anos. Sabe-se que a dispersão dos insetos é influenciada por muitas variáveis, mas o vento tem recebido uma atenção especial, sendo considerado como um dos principais fatores responsáveis pela dispersão de diversos organismos (DRAKE & FARROW, 1988; HOLLAND et al., 2006).

Nos últimos anos, com a entrada de cultivos geneticamente modificados que expressam toxinas da bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner no mercado brasileiro,

surgiram questionamentos quanto ao manejo adequado destas culturas em condições tropicais. O emprego deste tipo de técnica apresenta riscos, principalmente na indução de resistência através da pressão de seleção imposta às populações de insetos, uma vez que a maioria das áreas cultivadas é muito extensa (GOULD et al., 1997).

Dentre as ferramentas utilizadas para minimizar os impactos das cultivares “BT”, a mais difundida é o uso de áreas de refúgio, que possibilitam o fluxo gênico entre insetos de áreas transgênicas com insetos de áreas com cultivo convencional. Esta técnica tem a finalidade de diminuir a probabilidade de um inseto resistente transmitir um gene ou alelo de resistência (homozigoto RR) para sua descendência. Para determinar o tamanho destas áreas de refúgio, ou mesmo a distância entre elas, é necessário entender o comportamento de voo dos insetos, bem como avaliar sua dispersão (GOULD, 1998).

As informações sobre a capacidade de dispersão de *D. saccharalis* são escassas. Um dos únicos estudos existentes no Brasil foi realizado no estado de São Paulo por BOTELHO et al. (1978), no qual verificaram que os machos se dispersaram, em média, 42,5 metros por dia.

Para elucidar questões referentes à movimentação da broca da cana-de-açúcar, uma vez que cana-de-açúcar geneticamente modificada para expressar proteínas de *Bacillus thuringiensis* Berliner está em desenvolvimento e poderá ser liberada para plantio futuramente, o objetivo deste estudo foi avaliar a dispersão de machos de *D. saccharalis* em cana-de-açúcar e identificar os principais fatores que influenciam o voo, de modo a contribuir para o planejamento de áreas de refúgio.

II. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A broca da cana-de-açúcar

2.1.1. Danos e importância econômica

Várias poáceas são citadas como hospedeiras de *D. saccharalis*, como cana-de-açúcar, milho, arroz, aveia, sorgo, trigo e diversas forrageiras. Nestas plantas, as lagartas da broca-da-cana perfuram os colmos, causando danos consideráveis, principalmente na cultura canavieira. A praga ocorre em todo o território nacional (HOLLOWAY et al., 1928, COSTA-LIMA, 1950; DINARDO-MIRANDA, 2008).

As lagartas, entre o segundo e terceiro instar, penetram na planta pela parte mais tenra, próximo às gemas, perfurando galerias no interior dos colmos. Os danos podem ser diretos, como por exemplo, pela morte da gema apical quando as lagartas alimentam-se da região do palmito, cujo sintoma é conhecido como “coração-morto”. Pode haver também a quebra da planta, especialmente quando a lagarta faz galerias circulares no interior do colmo. Também é comum sintomas como o enraizamento aéreo, perfilhamento da touceira, encurtamento dos entrenós e redução da produtividade (HOLLOWAY et al., 1928, DINARDO-MIRANDA, 2008).

O ataque de *D. saccharalis* também pode provocar danos indiretos, por permitir a entrada de microorganismos como *Colletotrichum spp.* e *Fusarium spp.*, que penetram no colmo pelos orifícios abertos pela lagarta. Os patógenos se desenvolvem no colmo juntamente com a praga e causam o sintoma denominado “podridão vermelha” (ABBOTT, 1938). Estes microorganismos causam a inversão da sacarose armazenada na planta, podendo afetar consideravelmente a qualidade da matéria prima, com reflexos negativos na produção de açúcar e na fermentação alcoólica (McKAIG, 1936).

Estudos recentes demonstram que para cada 1% de infestação, há perdas de 0,42% no peso dos colmos. Pode também haver perdas na produção de açúcar de até 3,23% com 5% de infestação, variando em função da variedade (SALVATORE et al., 2010).

2.1.2. Aspectos biológicos e comportamento reprodutivo

A broca da cana-de-açúcar é um inseto holometábolo, que passa por quatro estágios distintos; ovo, larva, pupa e adulto. Os adultos são pouco vistosos, de coloração pardo-acinzentada e apresentam longevidade de três a oito dias (HOLLOWAY et al., 1928; COSTA-LIMA, 1950).

Para atrair os machos para a cópula, as fêmeas virgens liberam voláteis (feromônios) que são carregados através do vento. Os machos de *D. saccharalis* atraídos pelo feromônio presente nas correntes de ar voam à procura das fêmeas que aguardam imóveis a espera de parceiros. O pico de liberação de feromônio pelas fêmeas ocorre nas primeiras 48 horas após a emergência (PÉREZ, 1964; DINGLE, 1996; OSORIO-OSORIO & CIBRIÁN-TOVAR, 2000).

Segundo DINGLE (1996), após identificar o feromônio emitido pela fêmea, os machos de algumas espécies de lepidópteros ficam inquietos, e voam desordenadamente contra o vento procurando pontos onde há maior concentração do feromônio, até encontrar a fêmea e realizar a cópula, que acontece a noite.

As fêmeas, tanto em condições de laboratório como de campo, tendem a copular apenas uma vez. E, após a cópula, a fêmea cessa a emissão de feromônio. A maioria dos machos também copula apenas uma vez, mas em campo podem copular até quatro vezes (PÉREZ, 1964; GUEVARA, 1980).

As posturas são colocadas em massas com cerca de 65 ovos e o período de incubação pode variar de quatro a nove dias conforme a temperatura. Os ovos possuem coloração esbranquiçada logo após a ovoposição, escurecendo gradativamente com o desenvolvimento do embrião (HOLLOWAY et al., 1928; COSTA-LIMA, 1950).

O desenvolvimento larval depende das condições ambientais. Em condições favoráveis, a lagarta pode apresentar crescimento diário de até 0,75 mm no comprimento. A larva possui cápsula cefálica marrom escuro e corpo amarelado. O número de instares pode variar de três a dez, sendo cinco o mais comum. O período larval pode durar de 25 a 30 dias a uma temperatura de 25°C (HOLLOWAY et al., 1928; COSTA-LIMA, 1950).

A empupação ocorre dentro dos colmos. As crisálidas possuem coloração marrom e são necessários de 6 a 22 dias para a emergência dos adultos. O ciclo da praga dura cerca de 43 dias, em média (HOLLOWAY et al., 1928).

2.1.3. Dispersão

Existem poucos estudos sobre a dispersão da broca da cana no Brasil, sendo escassas as informações para entender o comportamento de voo destes indivíduos no campo. BARBOSA (1985) estudou a distribuição de probabilidades de larvas de *D. saccharalis* através da amostragem de colmos no campo e concluiu que estes insetos possuíam distribuição contagiosa; logo, as larvas distribuem-se em “reboleiras” no campo.

A capacidade de dispersão de adultos de *D. saccharalis* em condições de campo foi estudada por BOTELHO et al. (1978). Os autores utilizaram esmalte para marcar os insetos e armadilhas contendo fêmeas virgens para capturar os adultos liberados. As fêmeas foram mantidas nas armadilhas até a sua morte ou até o início da oviposição, quando eram substituídas. Utilizando o método matemático proposto por DOBZHANSKY & WRIGHT (1943), os autores observaram que os machos se dispersaram em média 42,5 m por dia.

Para explicar a relação da frequência de captura entre a distância de voo em ensaios onde há um ponto fixo de dispersão, utilizam-se modelos descritivos de regressão, que são ferramentas valiosas na compreensão biológica do movimento dos insetos (STINNER et al., 1983). Os estudos existentes não são suficientes para elucidar todas as questões sobre a dispersão de *D. saccharalis* em condições tropicais.

2.2. Estudos de dispersão

2.2.1. Importância da marcação dos insetos

Para o estudo do movimento dos insetos no campo, é necessário marcá-los para que possam ser monitorados. Algumas técnicas de marcação e recaptura de insetos são amplamente usadas para avaliar a dispersão (SOUTHWOOD, 1978). É importante que a técnica de marcação não afete de forma significativa a biologia e o comportamento do inseto (HUNT et al., 2000), prejudicando a locomoção ou a reprodução destes indivíduos. Ressalta-se ainda que a marcação deve ser duradoura. O uso de corantes, dentre várias funções, ajuda na identificação do inseto recapturado, pois permite a distinção dos insetos liberados daqueles que já estavam no campo (SOUTHWOOD, 1978), sem afetar o desenvolvimento e comportamento.

O uso de corantes lipossolúveis na marcação de insetos possui várias vantagens perante outros métodos. Após ser diluído em óleo, o corante é incorporado à dieta e oferecido ao inseto, permitindo a marcação de vários indivíduos e com pouca demanda de mão-de-obra. Este tipo de técnica tem baixo custo e alta eficiência. Além disso, o inseto não elimina o corante com facilidade (HAGLER & JACKSON, 2001). VILARINHO (2007) mostrou que o corante Sudan Red 7B (C.I.26050) a 100 ppm não afeta o desenvolvimento de *D. saccharalis*. Todavia não foram feitos estudos de dispersão destes insetos utilizando este corante como marcador.

2.2.2. Fatores que influenciam o voo

A razão pela qual a maioria dos insetos tem hábito de voo noturno pode ser explicada pelas condições ambientais favoráveis encontradas a noite. Neste período a atmosfera encontra-se mais estável, proporcionando melhores condições para a migração. Alguns indivíduos chegam a alcançar altitudes acima da camada de inversão térmica, pois nestas altitudes, as condições climáticas são ideais para a migração a longas distâncias. Outra vantagem do voo noturno é evitar a predação por aves, e

também para evitar estresse térmico e perda de água pela ação da radiação solar (DRAKE & FARROW, 1988).

Embora não ocorra com *D. saccharalis*, outro tipo de dispersão de lepidópteros é a movimentação de larvas entre as plantas. Entretanto, diferente dos adultos, o seu deslocamento ocorre principalmente durante o dia, com aproveitamento dos ventos de maior intensidade. As lagartas tecem fios de seda e se dependuram neles, utilizando a força dos ventos para ganho de altura com menor dispêndio de energia (DRAKE & FARROW, 1988).

Muitas vezes, o voo noturno não é orientado apenas pela direção do vento, mas pode haver alguns elementos de navegação que são utilizados pelos insetos, e que podem ser mais eficazes em ventos fracos. O feromônio liberado pelas fêmeas virgens pode ser um desses elementos de navegação. Uma vez que os machos *D. saccharalis* atraídos pelos voláteis presentes nas correntes de ar, voam à procura das fêmeas que aguardam imóveis a espera de parceiros para a cópula (PÉREZ, 1964; DRAKE & FARROW, 1988; OSORIO-OSORIO & CIBRIÁN-TOVAR, 2000).

Faz-se necessário conhecer melhor as respostas de cada espécie aos diversos fatores climáticos, a fim de verificar a capacidade de adaptação de cada uma às variáveis atmosféricas. Também é necessário elucidar questões sobre os fatores que influenciam na orientação de voo dos insetos, verificando possíveis predisposições genéticas e adaptativas (DRAKE & FARROW, 1988; HOLLAND et al., 2006).

2.2.3. Manejo de cultivos geneticamente modificados

Existem diversos estudos com o uso de plantas que expressam toxinas da bactéria *Bacillus thuringiensis* Berliner no controle de *D. saccharalis*. Estes organismos geneticamente modificados são codificados para produzir proteínas de ação tóxica sobre lepidópteros (GOULD, 1998). O emprego deste tipo de técnica apresenta riscos, principalmente na indução de resistência através da pressão de seleção imposta às populações, uma vez que a maioria das áreas cultivadas é muito extensa (GOULD et al., 1997).

O risco de desenvolvimento de resistência na população de *D. saccharalis* foi comprovado através dos resultados obtidos por HUANG et al. (2007), que verificaram quebra de resistência das lagartas na cultura do milho geneticamente modificado, cujas plantas são codificadas para produzir a proteína Cry1Ab. A resistência foi conferida por um alelo recessivo presente inicialmente em 0,0023% da população em campos com plantio de milho nos Estados Unidos.

Este tipo de manifestação de resistência é acelerado quando as táticas culturais recomendadas a estas variedades não são devidamente empregadas. Para minimizar os impactos das plantas “Bt” utilizam-se áreas de refúgio, que permitem o fluxo gênico entre insetos de áreas transgênicas com insetos de áreas sob cultivo convencional. Assim, é possível diminuir a probabilidade de um inseto resistente transmitir um gene ou alelo de resistência (homozigoto RR) para sua descendência (GOULD, 1998).

Para determinar o tamanho destas áreas de refúgio, ou mesmo a distância entre elas, é necessário entender o comportamento de voo do inseto, e estudar sua dispersão (GOULD, 1998).

III. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Ensaio 1 e 2

3.1.1. Marcação de *D. saccharalis* e implantação da criação

A dispersão de *D. saccharalis* foi avaliada por meio da liberação e captura de machos previamente marcados. A captura foi realizada com armadilhas delta (ISCA Tecnologias ®) contendo fêmeas virgens para atrair os machos (BOTELHO et al., 1976).

Para a marcação dos machos utilizou-se os corantes lipossolúveis vermelho (Sudan Red 7B - C.I.26050) e azul (Solvent Blue 35 - C.I.61554) (Aldrich Company Inc.) incorporados ao alimento oferecido às larvas, conforme (HENDRICKS et al., 1971; HUNT et al., 2000). Inicialmente, diluíram-se 5 g do corante em pó em 50 ml de óleo de milho. Posteriormente, retirou-se uma alíquota de 1 ml da solução contendo o corante, que foi misturada a 1 L de dieta, obtendo-se, dessa forma, 0,1 g de corante por litro de dieta ou 100 ppm (OSTLIE et al., 1984; VILARINHO, 2007). Ao incorporar o corante à dieta, realizava-se a homogeneização durante um minuto em liquidificador industrial.

Cada grupo de insetos alimentados com um tipo de corante correspondia a um ensaio; os insetos marcados com corante azul foram utilizados no ensaio 1, e os marcados com corante vermelho no ensaio 2.

Massas de ovos de *D. saccharalis*, contendo cerca de 60 ovos obtidas junto ao laboratório de criação da usina São Martinho, Pradópolis, SP, foram colocadas em tubos de ensaio contendo 20 g de dieta colorida artificialmente. Os tubos foram tampados com chumaços de algodão hidrofóbico. A dieta foi preparada com base na

proposta de KING & HARTLEY (1985); 1 kg é suficiente para alimentar cerca de 1000 lagartas.

Após a eclosão, a larva ingeriu o corante misturado ao alimento, que aos poucos, foi depositado em seu tecido adiposo. Todas as pupas coletadas foram separadas por sexo, baseado na descrição de LIÑARES & BASTIDAS (1996), e apenas os machos foram utilizados para a liberação. A marcação foi mantida até a fase adulta e pode ser facilmente observada com a remoção das escamas de uma pequena área do abdome (VILARINHO, 2007).

Os insetos foram mantidos no Laboratório de Ecologia Aplicada, da FCAV/UNESP sob condições controladas ($24\pm 2^{\circ}\text{C}$; UR $60\pm 15\%$; fotofase de 12 h).

3.1.2. Manejo das larvas e pupas

Nos primeiros 25 dias as larvas ficaram nos tubos, e posteriormente, foram transferidas para placas de Petri de acrílico, com 5 cm de diâmetro por 1,25 cm de altura, contendo 3 cm³ de dieta. Cerca de 40 lagartas foram colocadas por unidade, totalizando 1000 placas. Insetos provenientes de tubos contaminados por fungos foram descartados. Estes procedimentos foram realizados porque o alimento nos tubos estava acabando, e também para proporcionar melhores condições para o crescimento das lagartas.

Para que fosse possível estimar com mais precisão a data de emergência dos adultos, cada placa foi avaliada diariamente após a observação da empupação da primeira lagarta. Todas as pupas coletadas foram separadas por sexo, baseado na descrição de LIÑARES & BASTIDAS (1996), e os machos foram separados para que fossem liberados.

As crisálidas foram depositadas em placas de Petri de 8 cm de diâmetro por 1,5 cm de altura até o início da emergência, e armazenadas em câmaras climatizadas tipo BOD com fotoperíodo de 12 horas.

As pupas coletadas diariamente foram separadas em grupos que foram submetidos a diferentes temperaturas (20, 25 e 30°C). Cada grupo continha insetos que

empuparam durante 3 dias; tudo para que houvesse o maior número possível de mariposas emergindo no menor espaço de tempo.

3.1.3. Abrigos de liberação e armadilhas de captura

Para abrigar os insetos que seriam liberados, foram utilizadas duas caixas de madeira (40 x 25 x 12 cm), com cobertura de lâmina de zinco (dobrada em forma de v invertido), o teto foi sustentado com hastes de madeira de 15 cm de comprimento. As duas faces menores do abrigo foram lacradas com madeira até a altura da cobertura e as demais foram fechadas utilizando tela metálica com orifícios de 1,5 cm de diâmetro (Figura 1A).

Os dois abrigos foram revestidos internamente com papel alumínio, para evitar contaminação dos insetos por organismos entomopatogênicos. Após a observação da emergência dos primeiros adultos no laboratório, todas as pupas foram distribuídas uniformemente entre camadas de vermiculita dentro da caixa de madeira (Figura 1B) (VILARINHO, 2007).

Mantiveram-se no interior dos abrigos dois recipientes de 100 ml contendo algodão embebido em mel a 10% para alimentação dos adultos antes do voo. O abrigo foi lacrado com tecido tipo “voile” e aberto no momento da liberação (Figura 1B).

A armadilha delta utilizada na captura possuía um piso colante de face dupla que foi substituído no momento em que ocorria a perda de aderência dos insetos capturados. Para atrair os machos foram utilizadas fêmeas virgens presas em gaiolas, que foram confeccionadas utilizando cilindros de plástico perfurados, com 7 cm de altura por 4 cm de diâmetro, revestidos externamente com tecido tipo “voile” amarrado com fita elástica. Cada armadilha continha 3 fêmeas virgens que foram substituídas a cada dois dias (FILHO & RISCADO, 1988). Do mesmo modo que no abrigo, disponibilizou-se um chumaço de algodão embebido em solução de mel a 10% (Figura 1C) para alimentação das fêmeas.

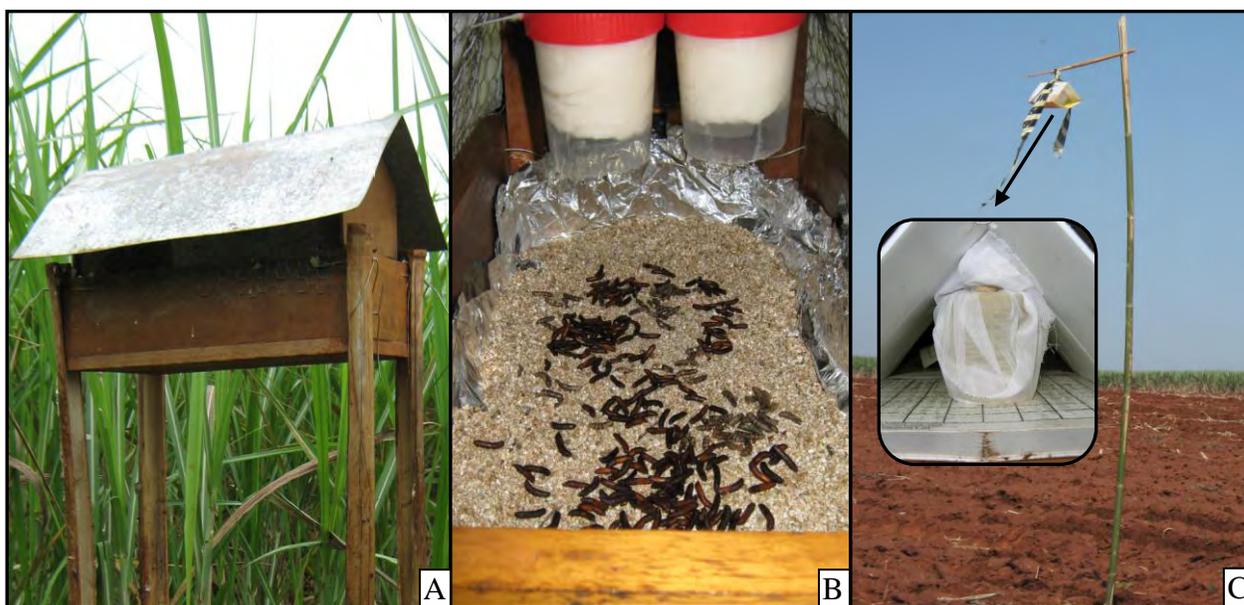


Figura 1. Abrigo e armadilha utilizados na liberação e captura de machos de *D. saccharalis* em cana-de-açúcar. (A) Abrigo instalado no ponto de liberação; (B) Vista interna do abrigo; (C) Detalhe da gaiola contendo fêmeas virgens que foi mantida no interior de armadilha tipo “delta” utilizada para capturar machos.

3.1.4. Instalação dos ensaios

Os estudos para avaliar a capacidade de dispersão de *D. saccharalis* foram realizados na Fazenda São José, Jaboticabal, SP, em área comercial de produção de cana-de-açúcar, no período de 18 de dezembro de 2008 a 9 de maio de 2009.

O ensaio 1 foi desenvolvido no talhão 103, longitude 48,246807° W, latitude 21,183883° S, altitude de 613.20 metros. A variedade era a RB835486, com 3 cortes e colheita mecanizada. O ensaio 2 foi realizado no talhão 9, longitude 48,248001° W, latitude 21,185265° S, altitude de 617.29 metros, cujas as variedades foram a SP89-1115, e SP90-1049, com 5 cortes, e colheita mecanizada.

O estágio de desenvolvimento das plantas de cada talhão na instalação dos ensaios 1 e 2 está descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Estádio fenológico, número de cortes, variedades e tipo de colheita da cultura da cana-de-açúcar nos talhões em que houve a liberação e captura de *D. saccharalis*.

Ensaio	Talhão	Armadilhas	Data da colheita	Dias após o último corte	Número de cortes	Variedade
1	103	1 a 24	10/06/2008	233	3	RB835486
2	9	1 a 24	05/05/2008	269	5	SP89-1115 SP90-1049

Obs.: O número dos talhões é o mesmo utilizado pelo produtor para identificar as áreas da fazenda. As duas áreas foram colhidas mecanicamente sem despalha a fogo.

Os abrigos (pontos de liberação) foram sustentados no campo por quatro hastes de bambu com 2,2 m de altura. Cada haste de sustentação foi pincelada com cola entomológica (Tanglefoot®) para evitar ataque de formigas (Figura 1A) (VILARINHO, 2007).

As armadilhas delta utilizadas na captura foram orientadas segundo a direção predominante do vento e mantidas na mesma altura do dossel das plantas com auxílio de vara de bambu enterrada no solo (Figura 1C). Os pontos de captura ficaram no mesmo nível do dossel da cultura, uma vez que os insetos voam tangenciando a parte superior das plantas, segundo MENDES et al. (1978).

As armadilhas de captura foram distribuídas no campo em torno de cada ponto de liberação, nos sentidos norte, sul, leste e oeste, e foram espaçadas a cerca de 20 m entre si, até a distância máxima de 120 m. Este modelo foi sugerido por HUNT et al. (2000) para analisar a distância e a direção da dispersão de insetos marcados (Figura 2).

Ao todo, foram utilizadas seis armadilhas em cada sentido e 24 no total para cada ensaio. A área circular de abrangência de cada ensaio foi de 4,52 ha, e a distância entre os pontos de liberação foi de 196 m (Figura 2).

Todos os pontos foram devidamente georeferenciados com o auxílio de um GPS modelo Etrex Vista (Garmin). Posteriormente, as distâncias e direções de voo foram confirmadas através do software Geoffice GPS (Solsoft). As armadilhas de captura foram orientadas no sentido norte-sul (direção predominante do vento) para favorecer o deslocamento do feromônio liberado pelas fêmeas.

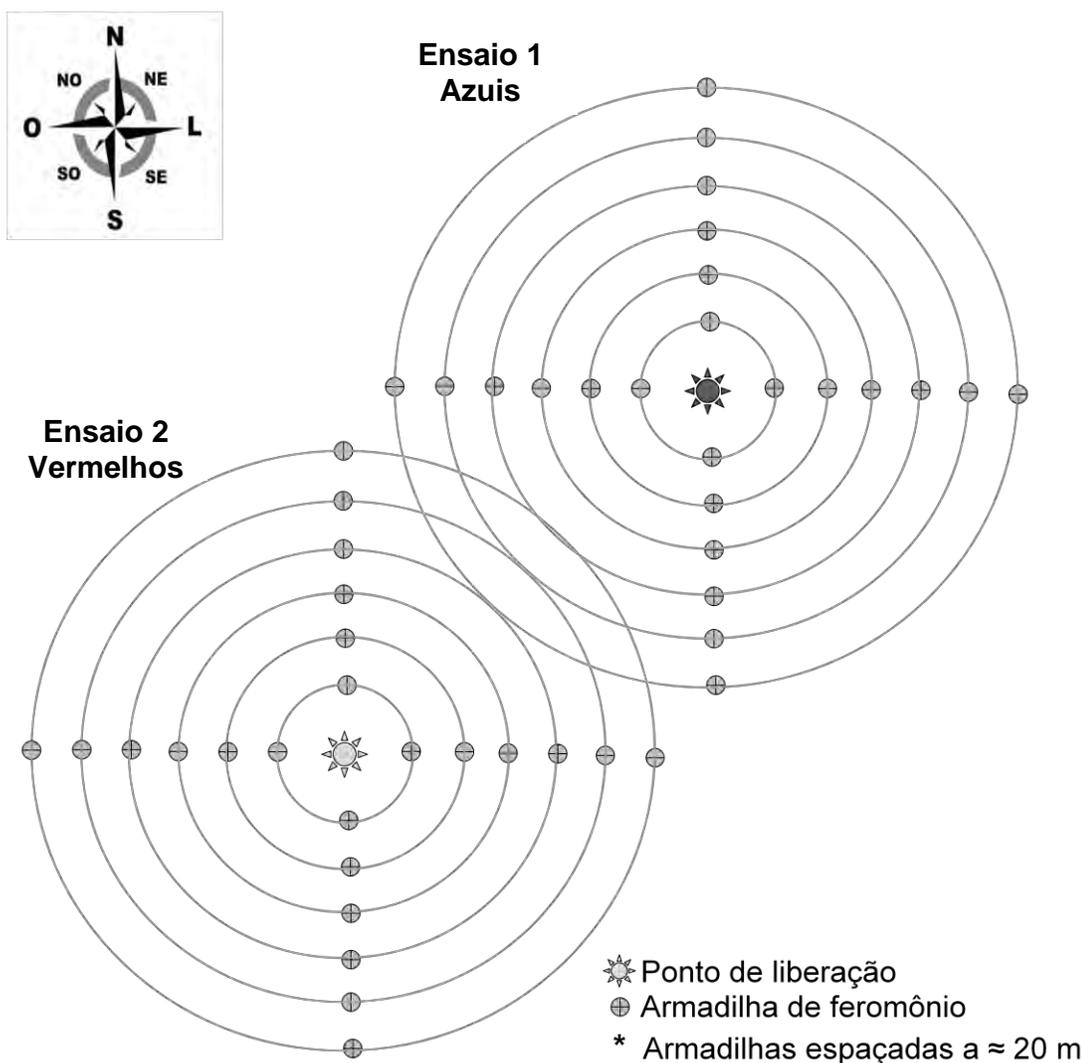


Figura 2. Esquema de distribuição das armadilhas de feromônio e ponto de liberação nos ensaios 1 e 2.

3.1.5. Liberação e captura dos machos

A liberação dos insetos ocorreu no início da noite (19:00 horas) de 29 de janeiro de 2009. O abrigo foi mantido no local por 48 h. Após este período, as pupas cujos adultos não emergiram e adultos defeituosos foram removidos e contabilizados. Foram liberados 2291 machos marcados com corante azul e 2238 marcados com corante vermelho.

Conforme SIMMONS & MARTI JR. (1992), os insetos capturados foram coletados diariamente até o 15º. dia após a liberação. Após a coleta diária, eram levados para o Laboratório de Ecologia Aplicada, FCAV/UNESP para contabilizar os machos capturados e confirmar a presença de corante no interior do abdome.

3.2. Ensaio 3

3.2.1. Implantação da criação

Para o ensaio 3, foi estabelecida uma nova criação de insetos. Utilizou-se apenas o corante azul, uma vez que havia somente um ponto de liberação. Manteve-se o mesmo procedimento adotado para os ensaios 1 e 2, mas procurou-se duplicar o número de insetos mantidos na criação.

Os demais procedimentos até a montagem no campo foram similares aos descritos nos itens 3.1.2., e 3.1.3.

3.2.2. Instalação das armadilhas no campo e liberação dos adultos

O ensaio 3 também foi realizado na Fazenda São José, Jaboticabal, SP, no período de 24 de abril a 9 de maio de 2009. Os insetos foram liberados no talhão 13 no início da tarde (14:00 horas), longitude W 48,243264°, latitude S 21,184946°, a uma altitude de 604.79 m. A variedade no ponto de liberação era a RB855536, com 9 cortes, e colheita mecanizada.

O estágio de desenvolvimento das plantas de cada talhão onde havia armadilhas na instalação do ensaio 3 está descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Estádio fenológico, tipo de colheita, número de cortes e variedades da cultura da cana-de-açúcar em cada talhão onde havia armadilhas.

Ensaio 3						
Talhão	Armadilhas	Data da colheita	Dias após o último corte	Tipo de colheita	Cortes	Variedade
1	55 a 64	-	*	1º ano	0	RB855453
7	49 a 54	14/05/2008	345	MEC	9	SP80-1842
9	5 a 9	05/05/2008	354	MEC	5	SP89-1115 SP90-1049
13	15, 16 e 33 a 36	19/08/2008	248	MEC	9	RB855536
15	26 a 32*	26/06/2008	302	MAN	7	RB835486
16	49 a 54	19/08/2008	248	MEC	5	RB855536
17	37 a 43	19/08/2008	248	MEC	3	RB855536
21	44 a 48**	21/08/2008	246	MAN	5	SP86-0155
103	10 a 14	10/06/2008	318	MEC	3	RB835486
510	1 a 4*	-	*	1º ano	0	IAC93-3046
612	17 a 21*	-	*	1º ano	0	RB855453

MEC – Colheita mecanizada sem despalha a fogo.

MAN – Colheita manual com despalha a fogo.

* Áreas de reforma com cana recém brotada.

**Talhão queimado e colhido no quinto dia de coleta (29/04).

Obs.: O número dos talhões é o mesmo utilizado pelo produtor para identificar as áreas da fazenda. As armadilhas 43 e 64 foram alocadas em áreas recém colhidas, as armadilhas 31 e 32 em mata ciliar, e a 17 em solo sem cobertura vegetal.

As armadilhas de captura foram espaçadas a cerca de 50 m entre si, até uma distância máxima de 800 m, nos sentidos norte, sul, leste e oeste. Foram utilizadas 16 armadilhas em cada sentido e a área circular do ensaio foi de 201, 06 ha (Figura 3). Os abrigos foram mantidos a 3 m de altura, e ficaram distantes um metro entre si no ponto de liberação. Assim como nos ensaios 1 e 2, os insetos foram coletados durante 15 dias após a liberação.

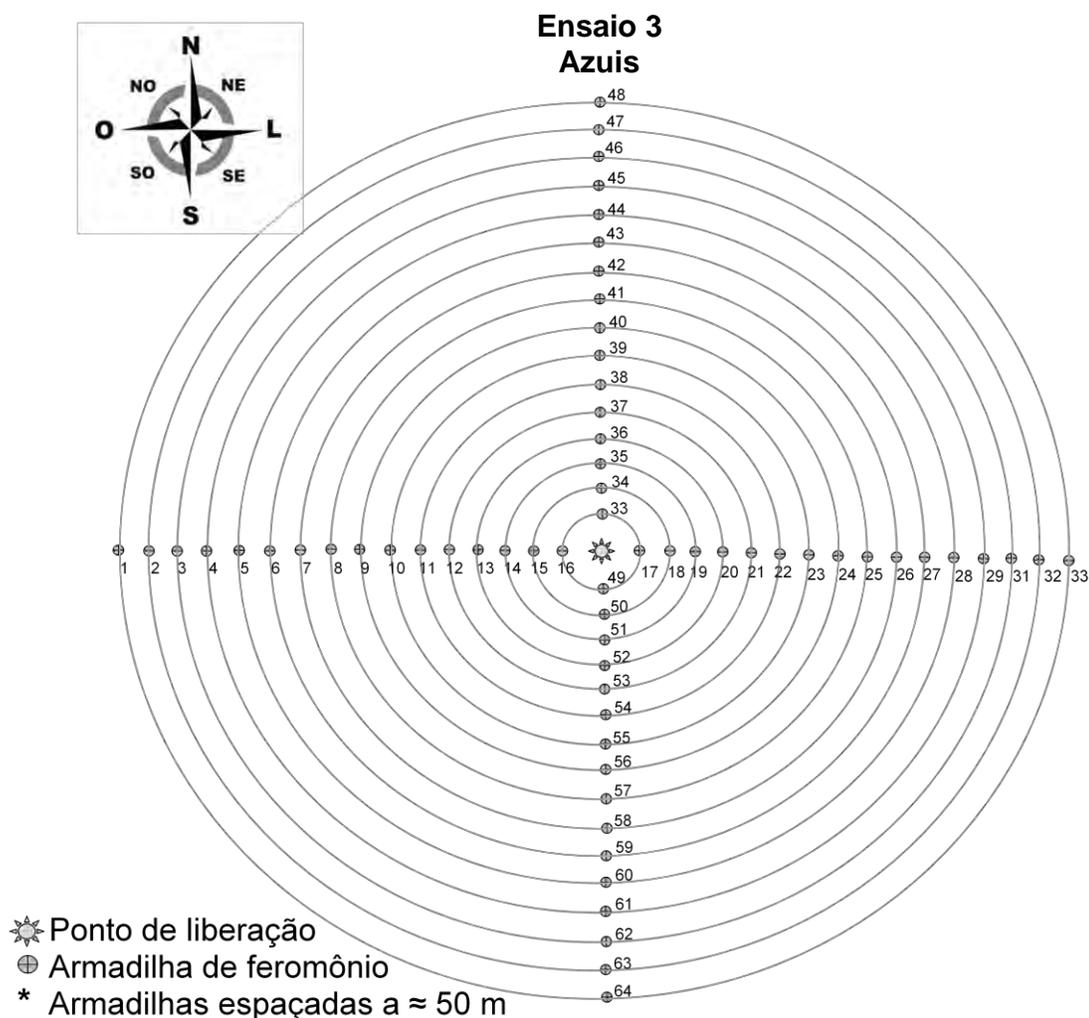


Figura 3. Esquema de distribuição das armadilhas de feromônio e ponto de liberação no ensaio 3.

3.3. Análise estatística

3.3.1. Captura diária e influência de fatores climáticos

Para avaliar em quais dias de coleta concentrou-se a captura de *D. saccharalis*, foi feita análise de variância dos dados de captura em função do dia de coleta, e os experimentos foram considerados repetições. Utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a separação das médias (SAS INSTITUTE, 2004).

A distância dos ensaios em relação à Estação Meteorológica da FCAV-UNESP foi estimada em aproximadamente 7 km. Com isso, os dados meteorológicos coletados na estação foram utilizados para avaliar a influência dos diversos fatores climáticos na dispersão. Como *D. saccharalis* possui hábito de voo noturno (MENDES et al., 1978), foram utilizados apenas os dados coletados das 19h às 6h. As variáveis utilizadas nas análises foram velocidade do vento, direção predominante do vento, precipitação, temperatura, e umidade relativa.

Para verificar a influência dos fatores velocidade do vento, precipitação, temperatura, e umidade relativa na captura de machos marcados e machos selvagens nos três ensaios, foi realizada análise de correlação utilizando o teste de correlação Spearman (SAS INSTITUTE, 2004). Este teste foi escolhido porque os dados climatológicos não são dependentes da captura dos insetos, e também porque o teste não faz nenhuma inferência sobre a distribuição de frequência das variáveis (SIEGEL & CASTELLAN JR, 2006). Foram utilizados os dados de todos os dias em que houve captura de insetos (marcados ou selvagens).

3.3.2. Influência da direção do vento na dispersão

Os insetos marcados capturados e aqueles provenientes do campo foram separados em grupos com três direções de voo distintas, para que fosse possível verificar a influência da direção do vento na dispersão; os grupos foram constituídos pelos insetos que voaram a favor do vento, os que voaram contra o vento e aqueles que foram indiferentes ao vento (SILVA, 2007).

Para analisar a influência da direção do vento na captura e distância de voo dos machos marcados, foram utilizados dados dos quatro primeiros dias de coleta no ensaio 3, e dos três primeiros dias de coleta nos ensaios 1 e 2, sendo que cada dia de coleta compôs uma repetição em cada ensaio. A escolha foi feita com base na porcentagem de captura de machos marcados no período selecionado, que foi de aproximadamente 95% do total capturado nos três ensaios. Também foram analisados os dados coletados referentes aos insetos capturados sem marcação.

Fez-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para os dados de influência da direção do vento na dispersão de *D saccharalis*. O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi usado para comparar as médias dos grupos de dados analisados. Para determinar a diferença entre os grupos, utilizou-se o teste de Mann-Whitney que permitiu fazer a comparação entre os pares (STATÍSTICA - STATSOFT 7.0).

3.3.3. Ajuste de modelo matemático

Realizou-se análise de regressão pelo método Quasi-Newton, com o intuito de comparar modelos exponenciais decrescentes que melhor se ajustassem à dispersão dos machos marcados nos três ensaios. Utilizou-se o modelo de VILARINHO (2007) dado por: $y = a + be^{(-Kx)}$. Outros dois modelos que foram utilizados por QURESHI et al. (2005, 2006) para descrever a dispersão de *O. nubillalis*, e de *D. grandiosella*, também foram testados, sendo eles: $y = a + be^{(-x)}$ e $y = a / (1 + (2a^2bx))^{0,5}$. Também foi testado um novo modelo, que foi adaptado de QURESHI et al. (2005, 2006), para melhor descrever a dispersão de *D. saccharalis*, o modelo é dado por: $y = a^2 / (1 + (2a^{1,8}bx))^{2,6}$.

Para realizar as análises, os dados de captura das armadilhas em todas as direções foram somados nos ensaios 1 e 2 (QURESHI et al., 2006). Já no ensaio 3, foram separados segundo a direção de voo do insetos em relação a direção do vento (contra, a favor e indiferente ao vento). Utilizou para a análise o programa STATISTICA - STATSOFT 7.0.

A precisão dos modelos foi avaliada utilizando os parâmetros sugeridos por DRAPER & SMITH (1981):

- Erro Predito (EP): $EP = \frac{y_t - \hat{y}_t}{\hat{y}_t} \times 100$

- Desvio Médio Absoluto (DMA): $DMA = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|}{n}$

- Quadrado Médio do Resíduo (QMR):
$$QMR = \frac{\sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t|^2}{n}$$

- Coeficiente de determinação (R^2), que quantifica a porcentagem da variância dos dados observados que foi absorvida pelo modelo.

Os valores de y_t são aqueles observados no tempo t , \hat{y}_t é o valor estimado pelo modelo e n é o número de observações. Quando os valores de EP forem positivos, significa que o modelo subestimou os valores observados; quando negativo, o modelo superestimou os dados observados. Quanto maiores os valores de QMR e de DMA, pior é o ajuste do modelo (DRAPER & SMITH, 1981).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Liberação e captura

Cerca de 45 % dos machos marcados com corante azul e 41 % dos marcados com corante vermelho deixaram o ponto de liberação nos ensaios 1 e 2, respectivamente. No ensaio 3, apenas 26 % dos machos se dispersaram (Tabela 3).

No ensaio 3, houve emergência de 48,98 % dos adultos, enquanto nos ensaios 1 e 2, a emergência foi de 71,31 e 81,09 %, respectivamente. A menor emergência de adultos no terceiro ensaio ocorreu porque as pupas foram mantidas em sala climatizada dentro dos abrigos a aproximadamente 18°C por um período prolongado. Este procedimento foi utilizado na tentativa de reduzir as perdas observadas nos ensaios anteriores, nos quais centenas de mariposas emergiram e se debateram até a morte tentando escapar do abrigo, antes do momento da liberação.

A permanência das pupas no campo durante o ensaio 3 não foi suficiente para que a maioria dos adultos emergissem, o que fez com que um número menor de machos deixassem os abrigos. Outros autores liberaram maior quantidade de insetos em estudos de dispersão, como QURESHI et al. (2005, 2006) e VILARINHO (2007). Embora, nesses casos, as pupas permanecessem no campo durante 15 dias, e foram liberados tanto machos como fêmeas.

Apesar do número reduzido de insetos que deixaram os pontos de liberação, foram capturados 4,01% machos marcados com corante azul e 6,07% marcados com corante vermelho nos ensaios 1 e 2, respectivamente. No terceiro ensaio foram capturados 7,91% dos machos marcados (Tabela 3). Em estudos de dispersão similares com *Diatraea grandiosella* (Dyar) (Lepidoptera: Crambidae), houve captura de

2,13 a 17,91 % utilizando armadilhas de feromônio associadas a armadilhas luminosas (QURESHI et al., 2006).

Foram capturados 30, 7 e 1103 machos do campo nos ensaios 1, 2 e 3, respectivamente, o que reafirma a eficiência das armadilhas adesivas que utilizam fêmeas virgens na captura de machos de *D. saccharalis* (BOTELHO et al., 1976; FILHO & RISCADO, 1988).

Tabela 3. Taxa de emergência, de voo e de captura dos machos liberados.

Variáveis	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Pupas cujos adultos não emergiram	642	433	2872
Adultos que emergiram	1596	1858	2758
Total liberado	2238	2291	5630
Adultos que não deixaram o abrigo	576	904	1279
Adultos que deixaram o abrigo	1020	954	1479
Machos marcados capturados	41	58	117
Machos do campo capturados	30	7	1103

Nos três ensaios, mais de 45 % dos machos marcados capturados foram coletados nas armadilhas mais próximas ao ponto de liberação. Mesmo no ensaio 3, no qual as armadilhas foram espaçadas a uma distância máxima de 800 metros, cerca de 74 % dos machos marcados capturados foram coletados até 200 metros, demonstrando que a maioria dos machos de *D. saccharalis* permanecem em áreas próximas ao ponto de liberação (Tabela 4) (BOTELHO et al., 1978; QURESHI et al., 2005).

De acordo com PLANT & CUNNINGHAM (1991), um problema frequentemente relacionado a experimentos que envolvem liberação e captura de insetos é a grande quantidade de indivíduos liberados em um único ponto, o que aumenta a competição intra-específica e pode superestimar a real capacidade de dispersão de um inseto.

Resultados obtidos por QURESHI et al. (2006) mostraram que mesmo em liberações com um número reduzido de *D. grandiosella* (41 fêmeas e 60 machos) foram capturados adultos a mais de 450 metros do ponto de liberação. No mesmo ensaio, foi realizada outra liberação com 4265 indivíduos, obtendo resultados semelhantes, uma

vez que as porcentagens de captura (% de captura = n° de indivíduos capturados X 100 / n° de indivíduos liberados) em relação à distância de voo foram parecidas em ambas as liberações.

Considerando que no presente estudo, 90,6% dos machos capturados no ensaio 3 voaram até 450 metros (Tabela 4), e que os 1479 adultos que deixaram os pontos de liberação não voaram todos simultaneamente, mesmo se tratando de outra espécie, pode-se inferir que a competição intra-específica de *D. saccharalis* não interferiu significativamente nos resultados obtidos no ensaio 3 (HUNT et al., 2001; QURESHI et al., 2006; VILARINHO, 2007).

Neste estudo foram liberados apenas machos, em virtude da armadilha de feromônio que foi utilizada para a captura. Liberando fêmeas juntamente com os machos poderíamos aumentar desnecessariamente a competição intra-específica de indivíduos em um único ponto (PLANT & CUNNINGHAM, 1991).

Tabela 4. Distância de voo, machos marcados capturados e porcentagem acumulada de insetos capturados nos ensaios 1, 2 e 3.

Ensaio	Distância de voo (m)	Machos marcados capturados	Porcentagem acumulada (%)
1	25,9	20	48,78
	46,6	3	56,10
	65,8	2	60,98
	79,8	4	70,73
	102,8	1	73,17
	122,1	8	92,68
	140,5	1	95,12
	161,6	1	97,56
	211,1	1	100,00
2	20,7	35	60,34
	42,6	7	72,41
	66,8	1	74,14
	97,6	3	79,31
	123,6	2	82,76
	135,4	4	89,66
	158,9	5	98,28
	264,9	1	100,00
3	49,7	56	47,86
	100,2	11	57,26
	150,5	12	67,52
	200,6	8	74,36
	250,8	2	76,07
	301,2	11	85,47
	350,8	4	88,89
	401,1	1	89,74
	449,1	1	90,60
	498,5	1	91,45
	599,6	5	95,73
	648,3	1	96,58
	747,4	1	97,44
799,0	3	100,00	

A captura dos machos marcados em todos os ensaios foi significativamente maior no primeiro dia ($P < 0,001$), decrescendo gradativamente a cada coleta (Figura 4). A diminuição da captura a partir do terceiro dia nos três ensaios está diretamente relacionada à permanência do abrigo no campo, que foi de 48 horas; portanto, espera-

se uma maior captura nos primeiros dois dias. Outro fator importante, relacionado ao decréscimo da captura ao longo dos dias de coleta é a mortalidade dos indivíduos liberados (PLANT & CUNNINGHAM, 1991; VILARINHO, 2007).

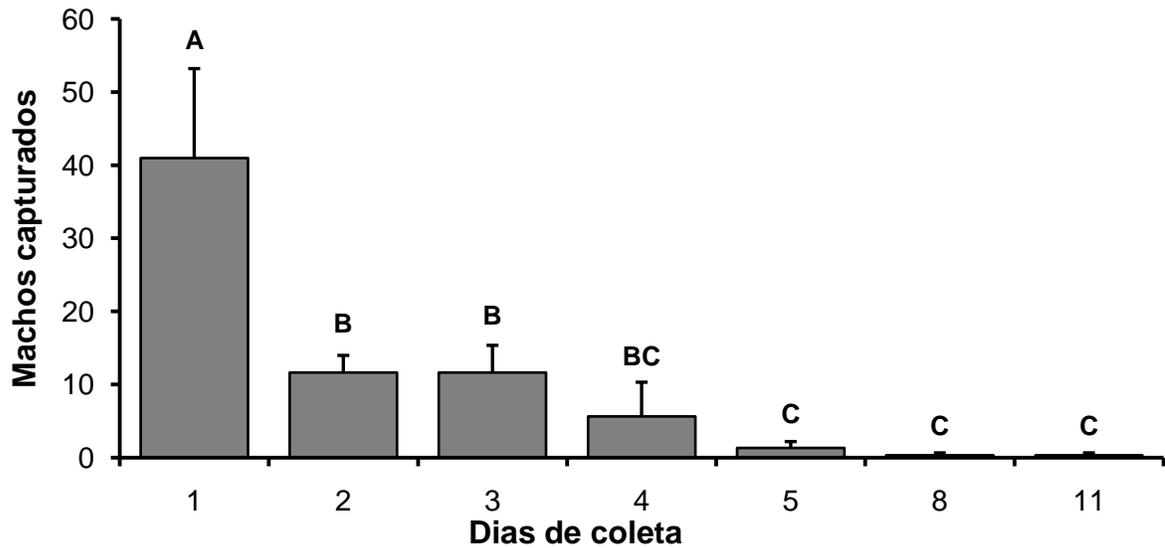


Figura 4. Número médio de machos capturados (+ erro padrão) em todos os ensaios em relação aos dias de coleta.

4.2. Influência dos fatores climáticos na captura

Todos os ensaios foram conduzidos entre a transição de lua nova para lua crescente, embora a captura dos machos marcados ocorreu durante a lua nova em todos os ensaios. Entretanto, não há relatos de estudos que avaliem a influência das fases lunares na captura de *D. saccharalis* utilizando armadilhas de feromônio.

Nos ensaios 1 e 2, a temperatura média noturna nos 3 primeiros dias em que houve captura de machos marcados foi de 21,6°C e a umidade relativa do ar foi de 87,8%. No ensaio 3, a temperatura média noturna foi de 18,1°C e a umidade relativa do ar foi de 78,8% nos 4 primeiros dias de coleta.

No ensaio 2, houve correlação negativa entre a captura de machos marcados e a temperatura ($P < 0,001$). Todavia, o mesmo comportamento não foi observado no ensaio 1, conduzido em condições climáticas semelhantes (Tabela 5).

No ensaio 3, observou-se correlação negativa entre a captura de machos do campo com a temperatura e a umidade relativa do ar ($P < 0,001$), fato que não ocorreu nos ensaios 1 e 2 (Tabela 5).

A aleatoriedade nos resultados demonstra que a temperatura e a umidade relativa do ar não interferiram de maneira decisiva na dispersão de machos marcados e do campo em nenhum dos ensaios, fato que pode estar relacionado à pequena variação de temperatura e umidade relativa do ar durante o período de estudo. Dados similares foram obtidos por ALMEIDA & ARRIGONI (1989) com machos de *D. saccharalis*, sendo que a flutuação populacional de machos capturados utilizando armadilhas de feromônio não apresentou nenhum tipo de correlação com fatores climáticos.

QURESHI et al. (2005) relataram que a temperatura e a umidade relativa do ar podem influenciar na captura de *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: Crambidae). Entretanto, os autores questionam os resultados obtidos, uma vez que não havia informações sobre o período do dia ou da noite em que ocorre a predominância de voo do inseto. PORTELA (2008) demonstrou que há correlação negativa entre temperatura e captura de *D. saccharalis*, havendo diferenças entre o verão e o inverno.

De maneira geral, extremos de temperatura e umidade relativa do ar podem influenciar o deslocamento e a reprodução de lepidópteros; considerando que os insetos necessitam de condições climáticas favoráveis para seu desenvolvimento (SILVEIRA NETO et al., 1976; DINGLE, 1996).

Houve correlação positiva entre velocidade do vento e captura de machos marcados nos ensaios 1 e 2 ($P < 0,001$). Todavia, o mesmo não aconteceu no ensaio 3. Para machos do campo, observou-se correlação positiva entre velocidade do vento e captura no ensaio 1 ($P < 0,002$), e no ensaio 3 ($P < 0,05$) (Tabela 5).

De modo semelhante ao que ocorreu com a temperatura e a umidade relativa do ar, os resultados obtidos foram aleatórios entre os ensaios, evidenciando que a velocidade do vento não influenciou de maneira decisiva na captura de machos marcados e do campo.

A precipitação pluviométrica durante a primeira noite após a liberação dos machos marcados nos ensaios 1 e 2 (6,7 mm), não prejudicou a captura; pelo contrário, houve correlação positiva entre precipitação pluviométrica e captura ($P < 0,001$).

No ensaio 3, a precipitação pluviométrica esteve negativamente correlacionada com a captura de machos marcados ($P < 0,005$), o oposto do que foi observado nos ensaios 1 e 2, nos quais a chuva favoreceu a captura.

A análise da relação entre as condições meteorológicas observadas durante os ensaios e a captura de machos de *D. saccharalis* demonstra que as variáveis precipitação pluviométrica, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento não foram determinantes na captura.

Tabela 5. Relação entre fatores climáticos e captura de machos de *D. saccharalis*.

Ensaio	Variável	Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)		Velocidade do vento (m/s)		Precipitação (mm)	
		ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P
1	Machos marcados	-0,009	0,918	0,018	0,837	0,303	<0,001*	0,441	<0,001*
	Machos do campo	-0,069	0,337	0,061	0,394	0,213	0,002*	0,094	0,191
2	Machos marcados	-0,312	<0,001*	0,174	0,056	0,312	<0,001*	0,328	<0,001*
	Machos do campo	-0,053	0,603	0,161	0,116	0,161	0,116	0,208	0,041*
3	Machos marcados	-0,007	0,877	0,015	0,755	-0,061	0,228	-0,146	0,004*
	Machos do campo	-0,170	<0,001*	0,124	<0,001*	0,071	0,025*	0,007	0,806

(*) Significativo a 5% de probabilidade.

ρ = coeficiente de correlação de Spearman.

P = valor da probabilidade.

4.3. Influência da direção do vento na dispersão

Os resultados do teste de normalidade de Shapiro-Wilk indicaram que os parâmetros média de machos marcados por armadilha, distância média de voo dos

machos marcados e média de machos do campo por armadilha não apresentaram distribuição normal dos dados em nenhum dos ensaios (Tabela 6). Em virtude da não normalidade dos dados, utilizou-se testes não paramétricos para as análises estatísticas (SIEGEL & CASTELLAN JR, 2006).

Tabela 6. Teste de normalidade de Shapiro-Wilk para machos marcados, do campo e distância de voo de machos marcados, de acordo com os ensaios e direção de voo.

Ensaio	Direção de voo	Machos marcados		Machos do campo		Distância de voo	
		W	p	W	p	W	p
1	A favor	0,609	< 0,001	0,429	< 0,001	0,880	*0,226
	Contra	0,651	< 0,001	0,476	< 0,001	0,736	0,006
	Indiferente	0,652	< 0,001	0,333	< 0,001	0,643	< 0,001
2	A favor	0,645	< 0,001	0,209	< 0,001	0,571	< 0,001
	Contra	0,352	< 0,001	0,316	< 0,001	0,000	< 0,001
	Indiferente	0,573	< 0,001	0,310	< 0,001	0,629	< 0,001
3	A favor	0,331	< 0,001	0,504	< 0,001	0,617	< 0,001
	Contra	0,279	< 0,001	0,377	< 0,001	0,760	< 0,001
	Indiferente	0,363	< 0,001	0,321	< 0,001	0,768	< 0,001

(*) Variável normal.

Avaliando a influência da direção do vento na dispersão de machos marcados nos ensaios 1 e 2, observou-se que não houve diferença estatística significativa no número médio de indivíduos marcados capturados e na distância média de deslocamento entre as diferentes direções de voo (Figuras 5 e 6).

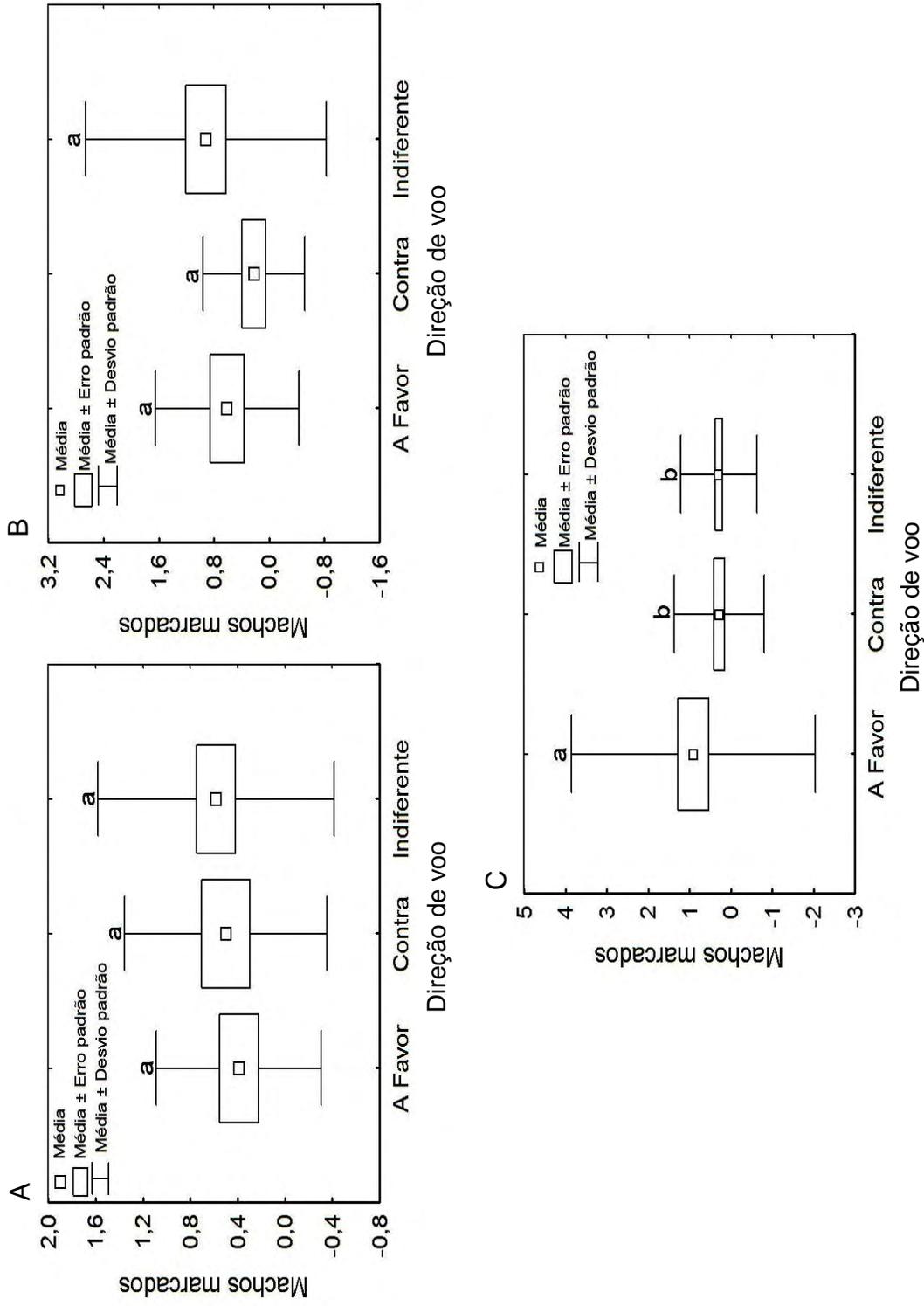


Figura 5. Número médio de machos marcados capturados em todos os ensaios nas condições de voo; a favor do vento, contra o vento e indiferente ao vento. (A) Ensaio 1, (B) Ensaio 2, (C) Ensaio 3.

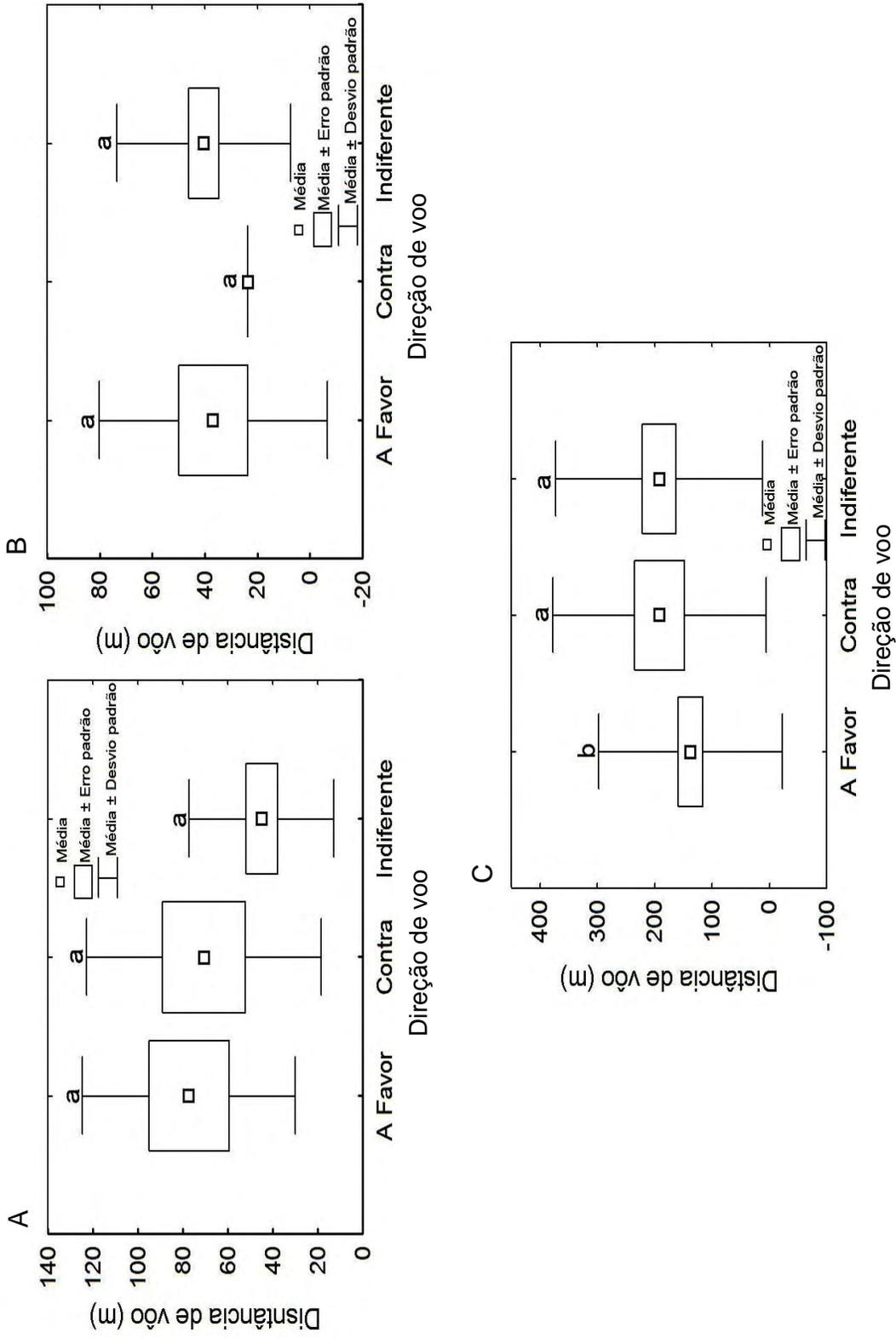


Figura 6. Distância média de vôo de machos marcados em todos os ensaios nas condições de vôo; a favor do vento, contra o vento e indiferente ao vento. (A) Ensaio 1, (B) Ensaio 2, (C) Ensaio 3.

O ponto de liberação do ensaio 1 encontrava-se a cerca de 200 metros a nordeste do ponto de liberação do ensaio 2, e, como pode ser visualizado na Figura 2, algumas das armadilhas de feromônio dos dois ensaios encontram-se próximas umas das outras. Assim, o feromônio liberado pelas fêmeas virgens formou uma pluma de voláteis no campo que foi deslocada do sul para o norte, por ventos com velocidade média de aproximadamente 4,42 km/h nos três primeiros dias de captura de machos marcados. Esperava-se que os machos do ensaio 1, atraídos pela pluma gerada pelas fêmeas virgens de ambos os ensaios, voassem no sentido sul contra a direção predominante do vento em busca das fêmeas; contudo, este comportamento não foi observado (PÉREZ, 1964; DINGLE, 1996).

Os resultados obtidos para machos marcados nos ensaios 1 e 2 indicaram que a direção do vento não interferiu na distância de voo e no sentido cardinal da captura. Tais resultados podem ser atribuídos à ausência de armadilhas de feromônio a distâncias maiores. A distância máxima entre o ponto de liberação e as armadilhas periféricas foi de 120 m em cada ensaio, subestimando a capacidade de voo dos machos. Em função disso, no primeiro dia de coleta, capturaram-se machos marcados em distâncias superiores a 160 m, ou seja, alguns machos liberados no ensaio 1 foram capturados no ensaio 2, e alguns machos liberados no ensaio 2 foram capturados no ensaio 1. Portanto, o desenho experimental dos ensaios 1 e 2 não foi adequado para avaliar a influência da direção do vento na dispersão dos machos marcados.

Em estudos com *O. nubilalis*, QURESHI et al., (2005) relataram que o vento foi mais importante no deslocamento entre diferentes campos de cultivo de milho do que dentro da mesma área onde a liberação foi realizada. Logo, o mesmo pode ter ocorrido com *D. saccharalis* em cana-de-açúcar, considerando que as armadilhas em ambos os ensaios encontravam-se no mesmo talhão em que houve a liberação.

O vento poderia ter influenciado de alguma forma a captura de machos do campo. No entanto, não houve diferença estatística significativa entre as diferentes direções de voo nos ensaios 1 e 2 (Figura 7). Os machos do campo provavelmente não saíram de um ponto localizado e se dispersaram, mas já estavam presentes nos talhões

onde os ensaios foram conduzidos, e, conseqüentemente, se deslocaram para as armadilhas mais próximas atraídos pelas fêmeas virgens.

No ensaio 3, o número médio de machos marcados capturados apresentou diferença estatística significativa com relação às direções de voo ($P < 0,05$). A média de machos marcados capturados que voaram a favor do vento foi maior quando comparada àqueles que voaram contra e indiferente ao vento. A distância média de voo dos insetos que se deslocaram a favor do vento foi significativamente menor ($P < 0,05$) quando comparada àqueles que voaram no sentido oposto e indiferente ao vento (Figuras 5 e 6).

Semelhantemente aos ensaios 1 e 2, no ensaio 3 a pluma de feromônio deslocou-se a favor do vento, cuja velocidade média noturna nos quatro primeiros dias foi de 1,88 km/h. O vento mudou a direção no decorrer dos principais dias de captura, sendo predominante na direção sul no primeiro e quarto dias, e oeste no segundo e terceiro dias, diferentemente dos ensaios 1 e 2, nos quais o vento predominante foi no sentido norte.

Em geral, quando alcançam certa altitude durante o voo noturno, os insetos podem fazer uso de estímulos químicos como elementos de navegação, que são mais eficazes na condição de ventos brandos (DRAKE & FARROW, 1988). No ensaio 3, o feromônio exalado pela fêmea virgem de *D. saccharalis*, pode ter desempenhado papel semelhante na orientação de voo dos machos. Todavia, com base nos resultados, a atração sexual por feromônio não foi determinante na orientação da direção de voo, considerando que a maioria dos machos voou na mesma direção do vento.

O vento exerce papel fundamental no deslocamento de lepidópteros no campo. SHOWERS et al. (1989) propuseram que o movimento de correntes de ar foi fator chave na dispersão de adultos de *Agrotis ipisilon* (Hufnagel, 1766) (Lepidoptera: Noctuidae), levando alguns indivíduos a alcançar distâncias superiores a 1000 quilômetros. Após terem alcançado altitudes de até 1500 metros, as mariposas foram impulsionadas por correntes de ar para quilômetros do ponto de liberação, voando a favor do vento e aproveitando correntes de ar vindas do oceano para se dispersar em planícies do estado do Texas, nos Estados Unidos.

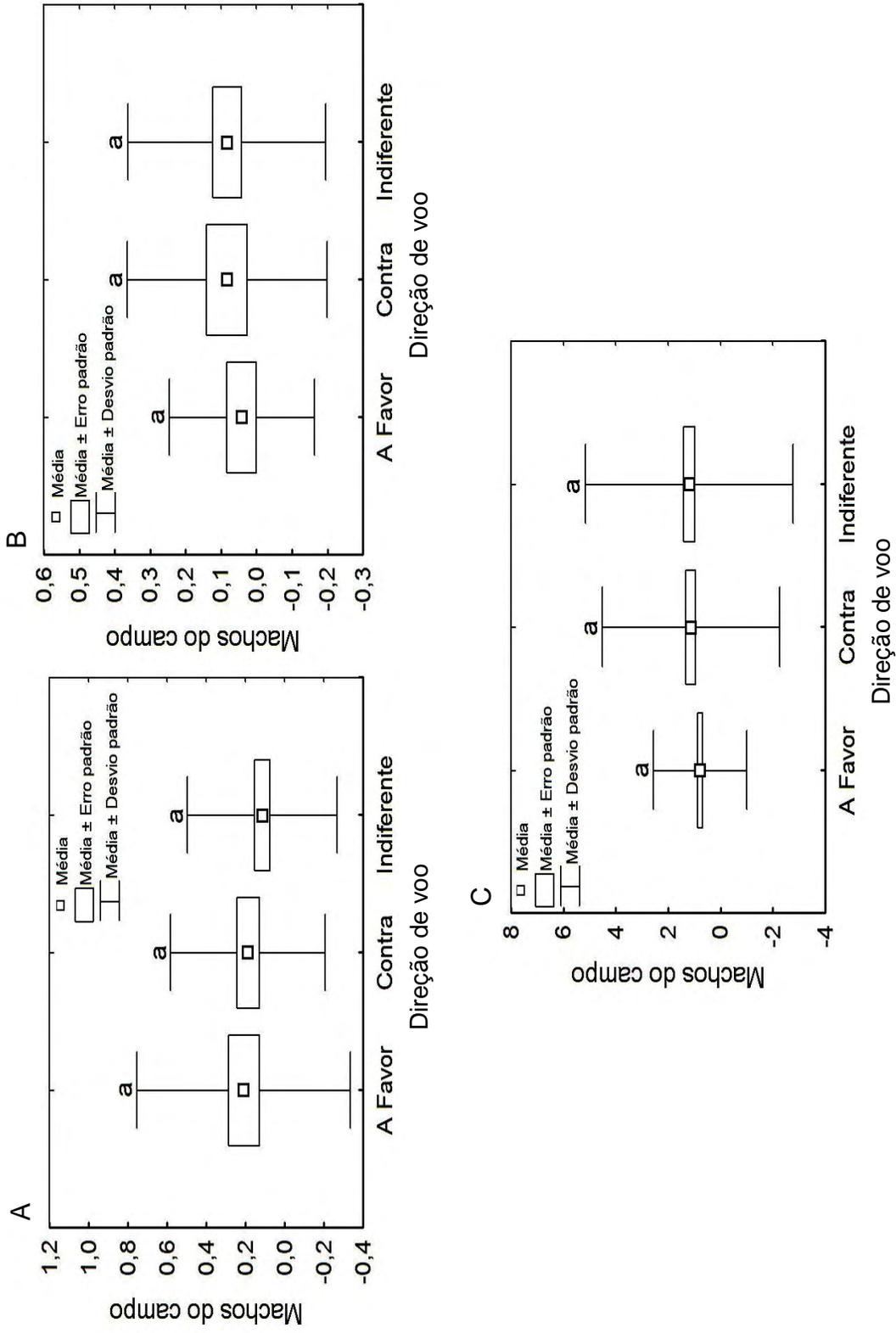


Figura 7. Número médio de machos do campo capturados em todos os ensaios nas condições de voo; a favor do vento, contra o vento e indiferente ao vento. (A) Ensaio 1, (B) Ensaio 2, (C) Ensaio 3.

SHOWERS et al. (2001) observaram que a direção do vento influenciou no deslocamento de *O. nubilalis*, de modo que alguns indivíduos que se dispersaram a favor do vento apresentaram velocidade média de vôo superior a velocidade do vento em alguns casos.

Assim como nos ensaios 1 e 2, não houve diferença estatística significativa quanto à captura de machos do campo entre as direções de voo no ensaio 3.

4.4. Ajuste de modelos na dispersão

Dentre os quatro modelos testados, o único que significativamente ($P < 0,05$) mostrou a relação entre distância de voo e quantidade de machos marcados capturados em todos os ensaios foi o novo modelo proposto $y = a^2 / (1 + (2a^{1,8}bx))^{2,6}$. Os outros modelos testados não foram estatisticamente significativos em todas as condições avaliadas (Tabela 7).

O novo modelo proposto captou a relação de dependência entre as variáveis distância de voo e machos marcados capturados, mostrando a tendência de decréscimo da captura com o aumento da distância a partir do ponto de liberação (DRAPER & SMITH, 1981; STINNER et al., 1983).

Em alguns casos a análise não pôde ser realizada, porque não foi possível calcular o erro padrão, nem a probabilidade. Isto aconteceu porque determinados modelos são inadequados e apresentavam vícios, havendo repetição de valores de captura a partir de uma determinada distância, sem nunca tender a zero em distâncias de voo maiores, como era esperado. Em todos os ensaios o modelo $y = a + be^{(-Kx)}$ utilizado por VILARINHO (2007) apresentou vícios. O modelo utilizado por QURESHI et al. (2005) $y = a + be^{(-x)}$, quando aplicado ao ensaio 2, apresentou o mesmo problema. Este modelo foi tão inadequado quanto o proposto por VILARINHO (2007), repetindo valores do número de machos capturados após uma determinada distância de captura. Para os ensaios 1 e 3 foi possível calcular o erro padrão e a probabilidade.

Tabela 7. Valores estimados de A, B e E para cada modelo testado pelo método Quasi-Newton, e o valor da probabilidade (média \pm erro padrão).

Modelo	Ensaio	A	B	E
$y = a + be^{(-Kx)}$	1	#	#	#
	2	#	#	#
	A favor	#	#	#
	3 Contra	#	#	#
	Indiferente	#	#	#
$y = a + be^{(-x)}$	1	1,46 \pm 0,74	346,48 \pm 852,35	1,11 \pm 0,10**
	2	#	#	#
	A favor	1,40 \pm 0,62*	202,70 \pm 126,54	1,03 \pm 0,01**
	3 Contra	0,52 \pm 2,10	12,94 \pm 62,63	1,01 \pm 0,09**
	Indiferente	1,00 \pm 0,90	41,18 \pm 43,65	1,02 \pm 0,02**
$y = a / (1 + (2a^2bx))^{0,5}$	1	355,03 \pm 4869,80	2,9.10 ⁻⁴ \pm 1,7.10 ⁻⁴	-
	2	222,91 \pm 1027,96	1,2.10 ⁻⁴ \pm 0,7.10 ⁻⁴	-
	A favor	234,68 \pm 1117,75	0,6.10 ⁻⁴ \pm 0,4.10 ⁻⁴	-
	3 Contra	17215 \pm 27,71.10 ⁶	7,3.10 ⁻⁴ \pm 4,0.10 ⁻⁴	-
	Indiferente	66229 \pm 15,33.10 ⁷	1,7.10 ⁻⁴ \pm 0,8.10 ^{-4*}	-
$y = a^2 / (1 + (2a^{1,8}bx))^{2,6}$	1	11,54 \pm 4,91*	2,6.10 ⁻⁴ \pm 0,6.10 ^{-4**}	-
	2	14,64 \pm 2,91**	2,0.10 ⁻⁴ \pm 0,2.10 ^{-4**}	-
	A favor	10,81 \pm 1,64**	1,0.10 ⁻⁴ \pm 0,1.10 ^{-4**}	-
	3 Contra	3,86 \pm 1,56*	3,5.10 ⁻⁴ \pm 0,8.10 ^{-4**}	-
	Indiferente	7,21 \pm 2,35**	1,8.10 ⁻⁴ \pm 0,2.10 ^{-4**}	-

Modelo inadequado

* Significativo a 5% de probabilidade

** Significativo a 1% de probabilidade

Com exceção do ensaio 2, o modelo $y = a + be^{(-x)}$ apresentou os menores valores para parâmetros EP, DMA, e QMR na maioria dos casos. Todavia, este modelo não explica a relação entre a distância de voo e a captura, para os dados obtidos neste ensaio (Tabela 8).

O modelo $y = a^2 / (1 + (2a^{1,8}bx))^{2,6}$ apresentou valores maiores para os parâmetros EP, DMA, e QMR na maioria dos casos, mas este se mostra mais adequado porque explica a relação entre a distância de voo e a captura. Modelos com os problemas já mencionados, podem se ajustar melhor aos dados, absorvendo melhor

variância, apresentando valores baixos do EP, DMA, e QMR, e em alguns casos, podem apresentar significância ao analisar a relação entre distância de voo e captura, mas não possuem nenhum significado biológico (Tabela 8).

Para melhor avaliar um modelo em estudos de dispersão, também é necessário analisar os valores calculados, e observar se há repetição do mesmo número de insetos capturados. Fato que pode ser visualizado pelo comportamento gráfico, quando a curva se torna estável a partir de uma determinada distância de voo e fica paralela ao eixo x (STINNER et al., 1983).

Tabela 8. Valores estimados do Erro Predito (EP), Desvio Médio Absoluto (DMA) e Quadrado Médio do Resíduo (QMR) para cada modelo testado pelo método Quasi-Newton.

Modelo	Ensaio	EP (%)	DMA	QMR
$y = a + be^{(-Kx)}$	1	#	#	#
	2	#	#	#
	A favor	#	#	#
	3 Contra	#	#	#
	Indiferente	#	#	#
$y = a + be^{(-x)}$	1	$-3,32.10^{-4}$	$-9,73.10^{-6}$	4,33
	2	#	#	#
	A favor	$-1,31.10^{-4}$	$-5,00.10^{-6}$	3,49
	3 Contra	$-5,76.10^{-4}$	$-6,84.10^{-6}$	2,94
	Indiferente	$-6,37.10^{-5}$	$-1,47.10^{-6}$	3,59
$y = a / (1 + (2a^2bx))^{0,5}$	1	-26,06	-1,03	17,27
	2	-33,08	-2,04	47,98
	A favor	-28,66	-1,52	38,89
	3 Contra	-22,56	-0,34	2,94
	Indiferente	-26,22	-0,82	8,69
$y = a^2 / (1 + (2a^{1,8}bx))^{2,6}$	1	6,16	0,17	5,42
	2	5,43	0,21	4,93
	A favor	4,05	0,14	6,23
	3 Contra	16,82	0,17	2,19
	Indiferente	21,32	0,40	3,77

Modelo inadequado

As equações calculadas na análise de regressão baseadas no modelo $y = a^2 / (1 + (2a^{1,8}bx))^{2,6}$, que foi o mais adequado em todos os ensaios para explicar a dispersão de machos de *D. saccharalis*, os valores da variância captada pelo modelo (R^2), e o ajuste das curvas de regressão estão representados nas Figuras 8 e 9.

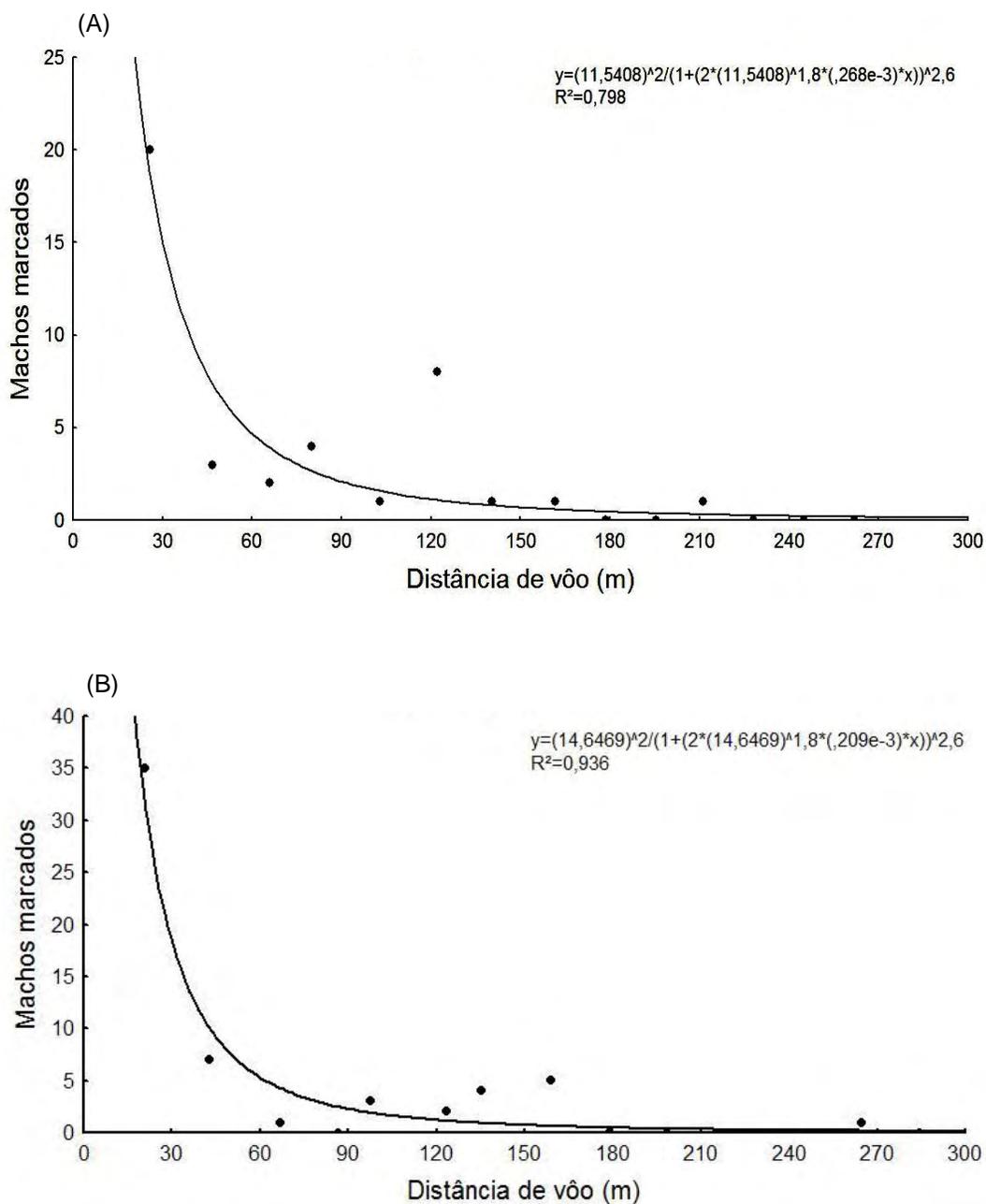


Figura 8. Linhas de tendência e equações de regressão. (A) Ensaio 1, (B) Ensaio 2.

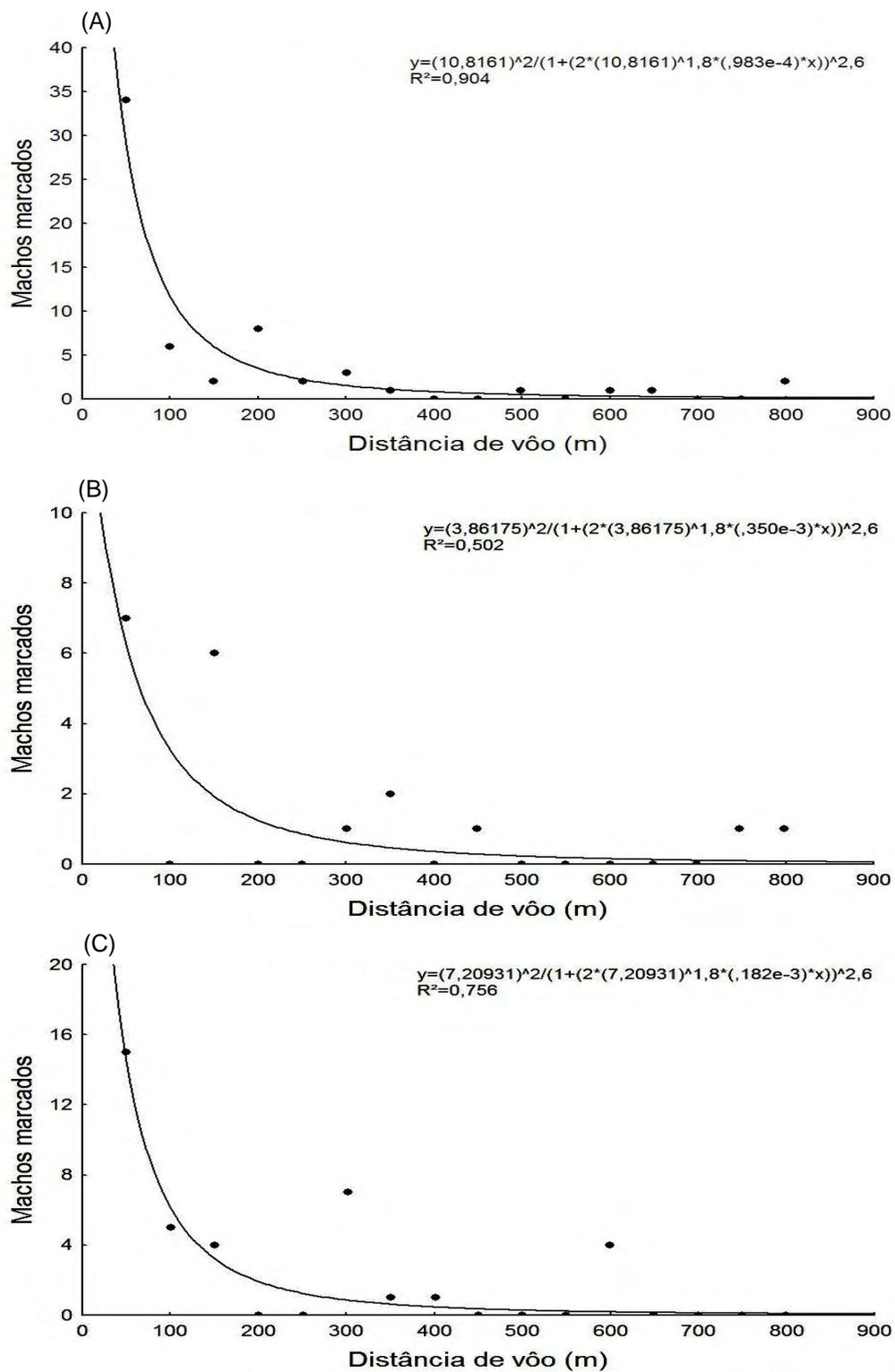


Figura 9 Linhas de tendência e equações de regressão referentes ao ensaio 3, nas condições de voo: (A) A favor, (B) Contra e (C) Indiferente ao vento.

4.5. Implicações no manejo de resistência a OGM

Para propor um programa robusto de manejo de resistência a organismos geneticamente modificados, é necessário considerar diversos fatores ecológicos que influenciam na dispersão do inseto alvo (GOULD, 1998). A influência da direção do vento observada na dispersão de *D. saccharalis*, pode ser utilizada para planejar uma melhor distribuição das áreas de refúgio no campo, de modo que o vento auxilie no deslocamento dos insetos.

Os machos de *D. saccharalis*, de modo geral, se dispersam mais que as fêmeas, e, em condições de campo, podem copular até 4 vezes, enquanto a fêmea copula apenas uma vez (PÉREZ, 1964; GUEVARA, 1980). Este comportamento aumenta a chance de ocorrência de acasalamento entre as populações de áreas de refúgio com populações de áreas sob cultivo de plantas “Bt”, resultando na redução da probabilidade de desenvolvimento de uma população resistente (GOULD, 1998).

Ao todo, foram encontrados três machos marcados a uma distância máxima de 800 metros, que é a mesma distância adotada entre áreas de refúgio para manejo de resistência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil para o manejo desta espécie em variedades de milho geneticamente modificadas (VILARINHO, 2007).

No primeiro dia de avaliação do ensaio 3, foram capturados machos marcados a 750 m do ponto de liberação. Este potencial de dispersão de *D. saccharalis* mostra que são necessários mais estudos sobre o assunto, com armadilhas mais espaçadas do ponto de liberação, e em maior número, para mensurar com mais segurança a capacidade de voo destes insetos (QURESHI et al., 2005).

Não há um consenso no meio científico sobre os parâmetros que precisam ser utilizados para determinar áreas de refúgio. GOULD (1998) demonstrou que para que as áreas de refúgio funcionem de maneira correta, é necessário que mais de 10 % da população por geração voe das áreas com sob cultivos transgênicos para áreas de refúgio.

Uma informação importante que muitas vezes não é divulgada adequadamente pelas empresas produtoras de sementes, é que a área de refúgio precisa ser plantada anualmente no mesmo local, para preservar os indivíduos suscetíveis, e para que a técnica do refúgio seja mais eficaz (GOULD, 1998).

Baseado na distância máxima de vôo alcançada pelos machos de *D. saccharalis*, as áreas de refúgio podem ser espaçadas a 800 m de distância entre si, visando permitir encontro de insetos suscetíveis e insetos eventualmente resistentes da área contendo cana-de-açúcar geneticamente modificada.

Entretanto, faz-se necessário que sejam realizados estudos mais aprofundados em outras regiões do país, e em culturas como o milho. Também é interessante aprofundar os estudos sobre comportamento de cópula, sobre os picos de dispersão noturna, flutuação populacional durante o ano em função de fatores climáticos, tudo para que seja possível implementar um programa sólido de manejo de resistência de *D. saccharalis* em cultivares geneticamente modificadas (GOULD, 1998).

V. CONCLUSÕES

- A captura dos machos de *D. saccharalis* é maior no primeiro dia e decresce gradativamente no tempo.
- A temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação não interferem decisivamente na captura dos machos liberados ou selvagens.
- A direção do vento exerce um papel fundamental na dispersão dos insetos, sendo um maior número de insetos que voam a favor do vento.
- A relação entre a distância de vôo e o número de indivíduos capturados segue um padrão exponencial decrescente, cujo modelo é dado por $y = a^2 / (1 + (2a^{1,8}bx))^{2,6}$.
- As áreas de refúgio devem estar situadas a uma distância máxima de 800 m entre si, visando permitir encontro de insetos suscetíveis e insetos eventualmente resistentes da área contendo cana-de-açúcar geneticamente modificada.

VI. REFERÊNCIAS

ABBOTT, E.V. **Red rot of sugarcane**. Washington: U.S. Dept. of Agriculture, n. 641, 1938. (Technical Bulletin) 96 p.

ALMEIDA, L.C.; ARRIGONI, E.B. Flutuação populacional de *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794), através de armadilhas de feromônio. **Boletim Técnico Copersucar**, v. 48, p. 17-24, 1989.

BARBOSA, J. C. **Distribuições de probabilidade como base para análises estatísticas, amostragem e estratégias de manejo de *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) na cultura da cana-de-açúcar**. 1985. 131 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

BOTELHO, P. S. M.; MENDES, A. C.; MACEDO N.; SILVEIRA NETO, S. Cálculo da dispersão da broca cana-de-açúcar *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794). **Brasil Açucareiro**, v. 92, p. 9-14, 1978.

BOTELHO, P. S. M.; MENDES, A. C.; MACEDO N.; SILVEIRA NETO, S. Testes comparativos de armadilhas para coleta de *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794). **Brasil Açucareiro**, v. 88, p. 38-42, 1976.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2009/2010, terceiro levantamento**. Brasília, 2009. 16 p.

COSTA-LIMA, A. M. **Insetos do Brasil**, 6° Tomo. Lepidópteros. 2a. parte. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, 1950. 420 p.

DINARDO MIRANDA, L.L. Pragas. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. p. 349-404.

DINGLE, H. **Migration: the biology of life on the move**. New York: Oxford University Press, 1996. 474 p.

DOBZHANSKY, TH.; WRIGHT, S. Genetics of natural populations. X. Dispersion rates in *Drosophila pseudoobscura*. **Genetics**, v. 28, p. 304-340, 1943.

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

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2nd. ed. New York: Wiley & Sons, 1981. 508 p.

FILHO, M.F.; RISCADO, G.M. Utilização de pupas fêmeas de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) em armadilhas de feromônio sexual. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 17, p. 29-43, 1988.

GOULD, F. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest and ecology. **Annual Review of Entomology**, v. 43, p. 701-726, 1998.

GOULD, F.; ANDERSON, A.; JONES, A.; SUMERFORD, D.; HECKEL, D. G.; LOPEZ, J.; MICINSKI, S.; LEONARD, R.; LASTER, M. Initial frequency of alleles for resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in field populations of *Heliothis virescens*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 94, p. 3519-3523, 1997.

GUEVARA, L.A.C. Frequência de cópula da *Diatraea saccharalis* (Fab., 1974) (Lepidoptera: Crambidae) em condições de campo e laboratório. **Agropecuária Técnica**, v. 1, n.1, p. 24-31, 1980.

HAGLER, J. R.; JACKSON, C. G. Methods for marking insects: current techniques and future prospects. **Annual Review of Entomology**, v. 46, p. 511-543, 2001.

HENDRICKS, D. E.; LEAL, M. P.; ROBINSON, S. H.; HERNANDEZ N. S. Oil-soluble black dye in larval diet marks adults and eggs of tobacco budworm and pink bollworm. **Journal of Economic Entomology**, v. 64, p. 1339-1401, 1971.

HOLLAND, R.A.; WIKELSKI, M.; WILCOVE, D.S. How and why do insects migrate? **Science**, v. 313, p. 794-796, 2006.

HOLLOWAY, T.E.; HALEY, W.E.; LOFTIN, U.C. **The sugar-cane moth borer in the United States**. Washington: U.S. Dept. of Agriculture, 1928. 80 p. (Technical Bulletin, 41).

HUANG, F. B.; LEONARD, R.; WU, X. Resistance of sugarcane borer to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 124, n. 1, p. 117-123, 2007.

HUNT, T. E.; HELLMICH, R. L.; DYER, J. M.; HIGLEY, L. H.; WITKOWSKI, J. F. Oil-Soluble dyes for marking European corn borer (Lepidoptera: Crambidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 35, p. 338-341, 2000.

KING, E.G.; HARTLEY, G.G. *Diatraea saccharalis*. In: SINGH, P.; MOORE, R.F. (eds.). **Handbook of insect rearing**. New York: Elsevier, 1985. p. 265-270.

LIÑARES, F.; BASTIDAS, R. **Descripción comparativa de las especies del género *Diatraea* (Lepidoptera: Pyralidae) que atacan la caña de azúcar en Venezuela.** Maracay: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Yaracuy, 1996. 92 p. (Serie A, 11).

MACEDO, N.; BOTELHO, P. S. M. Controle integrado da broca da cana-de-açúcar *Diatraea saccharalis* (Fabr. 1794) (Lepidoptera: Pyralidae). **Brasil Açucareiro**, v. 106, p. 2-12, 1988.

McKAIG, N. Chemical composition of juice from Louisiana sugarcane injured by the sugarcane borer and the red rot disease. **Journal of Agricultural Research**, v. 52, n. 1, p. 17-25, 1936.

MENDES, A. C.; BOTELHO, P. S. M.; MACEDO, N. Altura de vôo, hora de vôo e influência das fases lunares sobre a captura de adultos da *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) através de armadilhas luminosas. **Brasil Açucareiro**, v. 92, n. 5, p. 21-33, 1978.

OSORIO-OSORIO, R.; CIBRIÁN-TOVAR, J. Conducta de cortejo del barrenador de la caña de azúcar *Diatraea considerata* Heinrich (Lepidoptera: Pyralidae). **Agrociencia**, v. 34, n. 5, p. 619–626, 2000.

OSTLIE, K. R.; HEIN, G. L.; HIGLEY, L. G.; KASTER, L. V.; SHOWERS, W. B. European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) development, larval survival, and adult vigor on meridic diets containing marker dyes. **Journal of Economic Entomology**, v. 77, p. 118-120, 1984.

PÉREZ, R. P. **Sex attractant and mating behaviour of the sugarcane borer moth.** 1964. 38 f. Thesis (Master of Science) – Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, University of Puerto Rico, Puerto Rico, 1964.

PLANT, R. E.; CUNNINGHAM, R. T. Analyses of the dispersal of sterile mediterranean fruit flies (Diptera: Tephritidae) released from a point source. **Environmental Entomology**, v. 20, p. 1493-1503, 1991.

PORTELA, G.L.F. **Dinâmica populacional de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) e *Mahanarva fimbriolata* (Stal, 1854) e infestação de diferentes variedades de cana-de-açúcar por *Diatraea* spp. no município de União – Piauí – Brasil.** 2008. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2008.

QURESHI, J. A.; BUSCHMAN, L. L.; THRONE, J. E.; RAMASWAMY, S. B. Adult dispersal of *Ostrinia nubilalis* Hübner (Lepidoptera: Crambidae) and implications for its resistance management in Bt-maize. **Journal of Applied Entomology**, v. 129, n. 6, p. 281-292, 2005.

QURESHI, J.A.; BUSCHMAN, L. L.; THRONE, J. E.; RAMASWAMY, S. B. Dispersal of adult *Diatraea grandiosella* (Lepidoptera: Crambidae) and its implications for corn borer resistance management in *Bacillus thuringiensis* maize. **Annals of Entomological Society of America**, v. 99, p. 279-291, 2006.

SALVATORE, A. R.; GARCÍA, M. B.; ROMERO, E.; WILLINK, E. Sugar losses caused by the sugarcane borer (*Diatraea saccharalis*) in Tucumán, Argentina. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR-CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 27., 2010, Veracruz. **Proceedings**... Veracruz: Hawk Media, 2010. p. 101.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT User's Guide, release 9.1 ed. SAS Institute, Cary, NC. 2004.

SHOWERS, W. B.; HELLMICH, R. L.; DERRICK-ROBINSON, M. E.; HENDRIX III, W. H. Aggregation and dispersal behavior of marked and released European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) adults. **Environmental Entomology**, v. 30, p. 700-710, 2001.

SHOWERS, W. B.; SMELSER, R. B.; KEASTER, A. J.; WHITFORD, F.; ROBINSON, J. F.; LOPEZ, J. D.; TAYLOR, S. E. Recapture of marked black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) males after long-range transport. **Environmental Entomology**, v. 18, p. 447-458, 1989.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JR, N.J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 448 p.

SILVA, C.S.B. da. **Dispersão do parasitóide de ovos *Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Scelionidae) e sua interação com algumas variáveis ambientais em agroecossistemas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.)**. 2007. 139f. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2007.

SILVEIRA NETO, S., NAKANO, O.; BARBIN, D.; VILLA NOVA, N.A. **Manual de ecologia dos insetos**. Piracicaba: Ceres, 1976. 419 p.

SIMMONS, A.M.; MARTI JR, O.G. Mating by fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) frequency, duration, and of temperature. **Environmental Entomology**, v. 21, p. 371-375, 1992.

SOUTHWOOD, T. R. E. **Ecological methods**: with particular reference to the study of insect population. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 1978. 524 p.

STATISTICA - STATSOFT. Data Analysis Software System and User's Manual, Versión 7. Tulsa: StatSoft, 2001.

STINNER, R.E.; BARFIELD, C.S.; STIMAC, J.L.; DOHSE, L. Dispersal and movement of insect pests. **Annual Review of Entomology**, v. 28, p. 319-335, 1983.

TURCHIN, P.; THOENY, W. Quantifying dispersal of southern pine beetles with mark-recapture experiments and a diffusion model. **Ecological Applications**, v. 3, p. 187-198, 1993.

UNICA. União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. **A indústria da cana-de-açúcar: Etanol, açúcar e bioeletricidade**. 2009. Disponível em: <<http://www.portалunica.com.br>>. Acesso em: 16 jan 2010.

VILARINHO, E. C. **Marcação de *Diatraea saccharalis* (Fabr.)(Lepidoptera: Crambidae) e dispersão de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)(Lepidoptera: Noctuidae)**. 2007. 59 f. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2007.