

CROP PROTECTION

Desenvolvimento de um Modelo Para Previsão de Ocorrência do Bicho-Furão-dos-Citros, *Ecdytolopha aurantiana* (Lima) (Lepidoptera: Tortricidae)

RONALDO REIS JR., JOSÉ R.P. PARRA E JOSÉ M.S. BENTO

Depto. Entomologia, Fitopatologia e Zoologia Agrícola, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP
Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP

Neotropical Entomology 34(4):627-637 (2005)

Development of a Model to Predict the Occurrence of Citrus Fruit Borer, *Ecdytolopha aurantiana* (Lima) (Lepidoptera: Tortricidae)

ABSTRACT - The goal of this work was to develop a model to predict the occurrence of *Ecdytolopha aurantiana* (Lima), based on monitoring data collected through sexual pheromone traps. Soil type, site temperature, citrus variety, age of plants and use of chemicals to control *E. aurantiana* influenced the population dynamics of the insect. The highest influence was exerted by the soil type, followed by site temperature, citrus variety, age of plants and the use of chemicals for *E. aurantiana* control. The occurrence of *E. aurantiana* according to temperature is different for each combination of soil type, citrus variety, age of plants and use of chemicals. The model developed can predict the occurrence potential of *E. aurantiana* according to temperature or months of the year, taking into account soil type, citrus variety, age of plants and chemicals spraying. The elaborated software (BF), designed in R language, includes equations that simulate the various situations of *E. aurantiana* occurrence. The predicting model of citrus fruit borer occurrence can be improved with more frequent and continuous data collecting.

KEY WORDS: Predictive model, pest survey, citrus pest, pheromone

RESUMO - O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo para previsão de ocorrência do bicho-furão-dos-citros, *Ecdytolopha aurantiana* (Lima). Para tanto, 553 áreas localizadas em 17 fazendas do estado de São Paulo foram monitoradas por meio de armadilhas com feromônio sexual de *E. aurantiana* durante um ano. O tipo de solo, temperatura mensal média do local, variedade de citros, idade das plantas e uso de agroquímicos para o controle de *E. aurantiana*, foram utilizados como variáveis para cada área mencionada. A maior influência sobre a flutuação populacional do bicho-furão-dos-citros foi exercida pelo tipo de solo, seguido pela temperatura mensal média do local, variedade de citros, idade das plantas e uso de agroquímicos. A ocorrência de *E. aurantiana* em função da temperatura foi diferente para cada combinação de tipo de solo, variedade de citros, idade das plantas e uso de agroquímicos. O modelo desenvolvido pode prever o potencial de ocorrência de *E. aurantiana* em função da temperatura ou dos meses do ano, levando-se em consideração o tipo de solo, variedade de citros, idade das plantas e aplicação de agroquímicos. O programa (BF) elaborado na linguagem R conta com equações para simular as diversas situações de ocorrência de *E. aurantiana*. O modelo de previsão de ocorrência de bicho-furão pode ser aperfeiçoado com a coleta de dados mais regulares e de forma contínua.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo de previsão, monitoramento de pragas, praga de citros, feromônio

O bicho-furão-dos-citros, *Ecdytolopha aurantiana* (Lima), é uma das principais pragas na cultura do citros no Brasil. Seu ataque tornou-se importante, principalmente, a partir do final da década de 80, com perdas estimadas para algumas regiões do estado de São Paulo em 1 a 1,5 caixa

por planta (Prates & Pinto 1991, Pinto 1994). No final da década de 90, os prejuízos foram calculados em mais de 50 milhões de dólares ao ano pelo Fundo de Defesa da Citricultura-Fundecitrus (Anônimo 2000). Recentemente, o feromônio sexual de *E. aurantiana* foi identificado por Leal

et al. (2001), e embora já se disponha, de um método de monitoramento populacional para a praga (Bento et al. 2001a), isso não é realizado em muitas áreas citrícolas. Neste sentido, o uso de modelos matemáticos para prever picos populacionais de *E. aurantiana* seria de grande valia. Alguns modelos matemáticos já são empregados com relativo sucesso em simulações ecológicas (Gutierrez et al. 1988a,b,c, 1991a,b, 1994; Acuña & Barchini de Giménez 1996; Gutierrez et al. 1999).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo para previsão de ocorrência de *E. aurantiana*, baseado em dados de monitoramento por meio de armadilhas de feromônio sexual, levando-se em conta as variáveis: temperatura mensal média do local, tipo de solo, variedade cultivada, idade do pomar e aplicação de agroquímicos para o controle de *E. aurantiana*.

Material e Métodos

Coleta de Dados. Os dados utilizados no presente trabalho foram coletados em 553 áreas localizadas em 17 localidades do estado de São Paulo, no período de 08/2000 a 08/2001 (Fig. 1A). O número de áreas para cada localidade foram: Altair (24), Barretos (41), Boa Esperança do Sul (7), Brotas (10), Casa Branca (18), Colômbia (80), Descalvado (21), Gavião Peixoto (51), Ibitinga (148), Matão (11), Mogi Guaçu (15), Nova Europa (19) e Nova Granada (108). Cada área correspondeu a 10 ha da cultura, onde foi instalada uma armadilha com feromônio sexual de *E. aurantiana* por área, totalizando 553 armadilhas (Fig. 1B). Os dados consistiram no número de machos capturados semanalmente nas armadilhas, de acordo com a metodologia de Bento et al. (2001b). Posteriormente, esses dados foram agrupados mensalmente, computando-se o total de machos de *E. aurantiana* capturados nas armadilhas por área por mês.

Além do total de machos de *E. aurantiana* capturados por mês (variável resposta), foram avaliadas também as seguintes variáveis para cada área:

(A) Variedade de citros cultivada (Baianinha, Cravo, Hamlin, Murcott, Natal, Pera Rio, Rubi, Tahiti, Valência, Valência Americana, Valência Americana Precoce, Valência Argentina e Westin);

(B) Tipo de solo (AQ, GH, HI, HO, LE1, LE2, LE3, LE4, LE5, LEP1, LEP2, LR1, LR2, LV1, LV3, LV4, PE1, PEL2, PV3, PV4, TR1 e TR2. Detalhes sobre cada tipo de solo encontram-se na Tabela 1);

(C) Aplicação de agroquímicos para controle de *E. aurantiana* (deltametrina, na concentração de 25 g/l e *Bacillus thuringiensis*, na concentração de 33,6 g/l);

(D) Idade das plantas de citros (2 a 22 anos);

(E) Latitude e longitude (coletados por meio de GPS);

(F) Altitude (dados estimados utilizando-se os dados de topografia georeferenciada pela NASA e disponível no site <http://edcdaac.usgs.gov/topo30/>);

(G) Distância do oceano [Distância dos pontos de coleta até o oceano, medido de forma perpendicular ao litoral, sendo estimados segundo método de Vasconcelos & Tarifa (1983)]; e

(H) Temperatura mensal média de cada área [os dados foram estimados utilizando-se as equações propostas por

Vasconcelos & Tarifa (1983) para cada mês do ano. Utilizaram-se quatro variáveis para sua estimativa: latitude, longitude, altitude e distância do oceano].

Para a análise dos dados, foram consideradas as seguintes variáveis explicativas: variedade de citros, tipo de solo, idade das plantas, aplicação de agroquímicos para controle de *E. aurantiana* e temperatura. As outras variáveis (latitude, longitude, altitude e distância do oceano) foram utilizadas como auxiliares somente para a estimativa da temperatura de cada área.

Desenvolvimento dos Modelos. Para o desenvolvimento do modelo a ser empregado foi utilizado o sistema estatístico R (Ihaka & Gentleman 1996) (www.r-project.org/). A modelagem teve como base o módulo GLM (Generalized Linear Models) com distribuição de erros binomial negativa (função de ligação logarítmica) para correção de sobredispersão (Crawley 2002). Uma análise de resíduos foi realizada para verificar o ajuste do modelo.

O modelo completo foi assim construído:

Coleta =

$$\begin{aligned} & \text{Temperatura} + \text{Variedade} + \text{Solo} + \text{Idade} + \text{Temperatura}^2 + \\ & \text{Controle} + \text{Temperatura} : \text{Variedade} + \text{Temperatura} : \text{Solo} + \\ & \text{Variedade} : \text{Solo} + \text{Temperatura} : \text{Idade} + \text{Variedade} : \text{Idade} + \\ & \text{Solo} : \text{Idade} + \text{Variedade} : \text{Temperatura}^2 + \text{Solo} : \text{Temperatura}^2 + \\ & \text{Idade} : \text{Temperatura}^2 + \text{Temperatura} : \text{Variedade} : \text{Solo} + \\ & \text{Temperatura} : \text{Variedade} : \text{Idade} + \text{Temperatura} : \text{Solo} : \text{Idade} + \\ & \text{Variedade} : \text{Solo} : \text{Idade} + \text{Variedade} : \text{Solo} : \text{Temperatura}^2 + \\ & \text{Variedade} : \text{Idade} : \text{Temperatura}^2 + \text{Solo} : \text{Idade} : \text{Temperatura}^2 + \\ & \text{Temperatura} : \text{Varied} : \text{Solo} : \text{Idade} + \text{Variedade} : \text{Solo} : \text{Idade} : \text{Temperatura}^2 \end{aligned}$$

onde, *Coleta* é o total de machos de *E. aurantiana* capturados pela armadilha de feromônio sexual por mês na área; *Temperatura* é a temperatura mensal média na área; *Variedade* é a variedade cultivada; *Solo* é o tipo de solo predominante; *Idade* é a idade das plantas; *Temperatura*² é a temperatura na área e data de captura elevada ao quadrado; *Agroquímico* é se houve aplicação de agroquímicos para controle de *E. aurantiana* e as interações das variáveis.

O quadrado da temperatura foi adicionado ao modelo porque os organismos normalmente respondem à temperatura desta forma, ou seja, existe um ponto de máximo em relação à temperatura. O ponto de máximo refere-se à temperatura ideal para o desenvolvimento do organismo, onde este pode atingir seu potencial máximo (Garcia 1998).

A seguir foi feita a simplificação do modelo retirando-se interações e variáveis não significativas, obtendo-se o Modelo Mínimo Adequado (MMA) e, a seguir, testes de contraste foram realizados para agrupar estatisticamente as variáveis testadas, sendo estas denominadas amalgamadas, de acordo com Crawley (2002). Amalgamar os níveis de uma variável significa testar, por exemplo, se a variedade Pera Rio é estatisticamente diferente da variedade Valência; caso não difiram, elas se tornam um grupo (Crawley 2002). Essa técnica de contrastes difere de um simples teste de médias por levar em consideração ao mesmo tempo o intercepto e a inclinação da reta. Os contrastes foram feitos para as variáveis qualitativas (variedade de citros, tipo de solo e aplicação de agroquímicos). Com esse teste, chegou-se

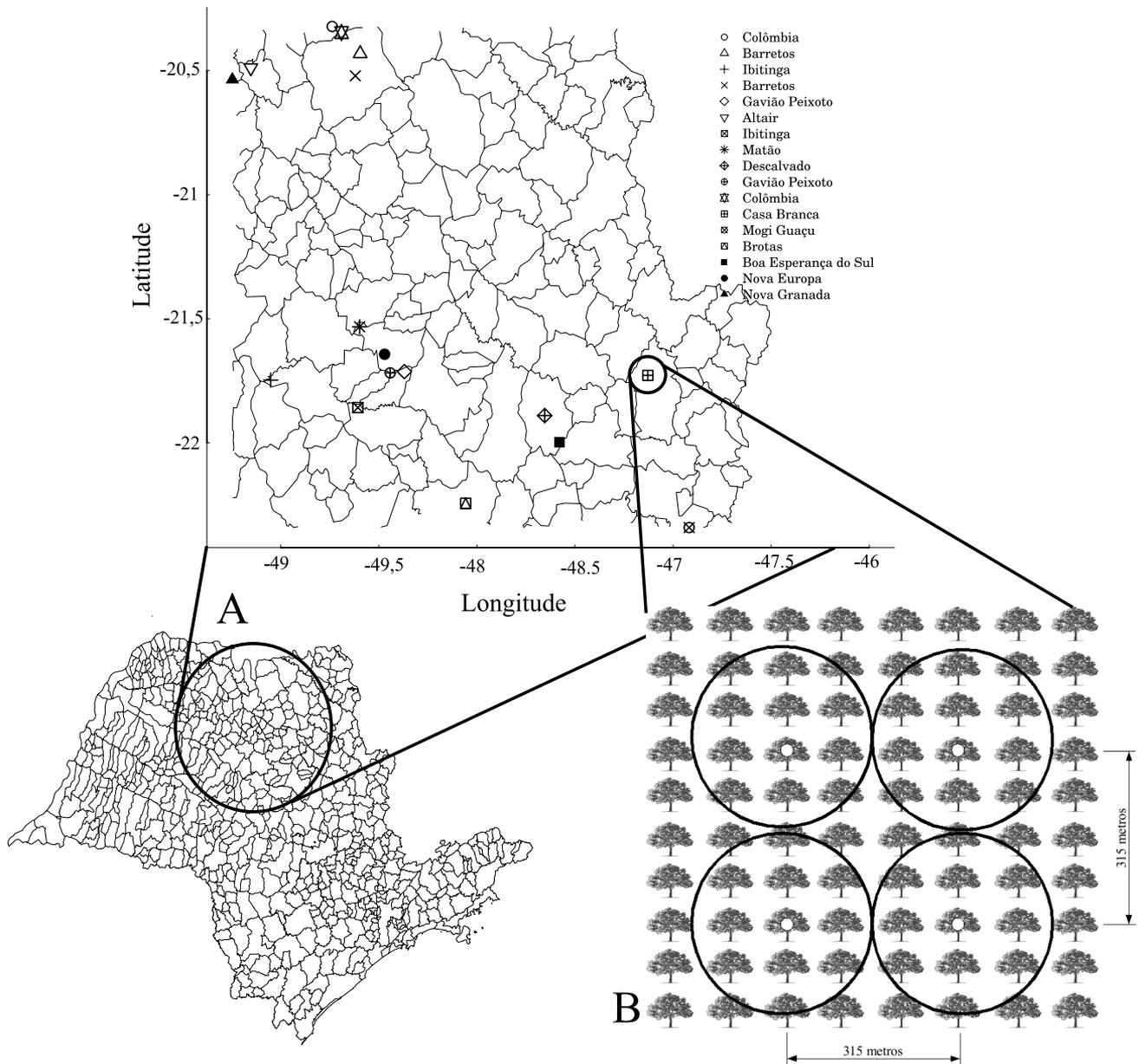


Figura 1. A - Mapa do estado de São Paulo indicando os municípios (vide legenda) onde as armadilhas contendo feromônio sexual para coleta de machos de *E. aurantiana* foram instaladas. B - Posicionamento das armadilhas de feromônio sexual no campo para coleta de machos de *E. aurantiana* (Bento *et al.* 2001a).

ao final da simplificação do modelo, criando-se o Modelo Mínimo Adequado Amalgamado (MMAA).

Terminada a simplificação do modelo, foram obtidas as estimativas dos parâmetros para a construção das equações. Para a utilização do modelo, foi necessária a criação de um programa para simular as diversas possibilidades de ocorrência de *E. aurantiana*. O programa foi desenvolvido utilizando-se a própria linguagem R (Ihaka & Gentleman 1996).

Resultados e Discussão

Modelo Desenvolvido. Após o desenvolvimento e simplificação do modelo (Modelo Mínimo Adequado -

MMA), constatou-se que as variáveis que influenciaram a captura de machos de *E. aurantiana*, em armadilha de feromônio foram: temperatura, variedade de citros, agroquímico, tipo de solo e algumas interações (Tabela 2). A distribuição de erros utilizada nessa análise foi binomial negativa com função de ligação logarítmica, sendo considerada adequada pela análise de resíduos.

Variabilidade de Citros. As diversas variedades de citros foram agrupadas conforme suas similaridades estatísticas de acordo com o tipo de influência (quantitativamente e qualitativamente) sobre a população de *E. aurantiana*. Foram definidos sete grupos de variedades, nos quais a ocorrência

Tabela 1. Tipos de solos encontrados nas áreas de amostragem de *E. aurantiana* e suas principais características.

Sigla	Tipo	Textura	Drenagem de água	Saturação por bases	Cor	Horizonte A
AQ	Areia quartzosa	Média	Altamente drenado	Distrófico	Vermelho escuro	Moderado
GH	Glei húmico	Média	Drenado	Distrófico	Vermelho escuro	Moderado
LEP2	Latossolo	Média	Bem drenado	Distrófico Ou Álico	Vermelho escuro	Moderado
TR1	Terra roxa estruturada	Muito argilosa	Drenado	Eutrófico	Roxo	Moderado
HI	Hidromórfico	Média	Pouco drenado	Distrófico	Vermelho escuro	Moderado
LR1	Latossolo	Muito argilosa	Drenado	Eutrófico	Roxo	Moderado
TR2	Terra roxa latossólica	Muito argilosa	Drenado	Eutrófico	Roxo	Moderado
HO	Orgânico	Média	Drenado	Distrófico	Vermelho escuro	Moderado
LR2	Latossolo	Muito argilosa	Drenado	Distrófico	Roxo	Moderado
LE1	Latossolo	Média	Bem drenado	Eutrófico	Vermelho escuro	Moderado
LV1	Latossolo	Média	Bem drenado	Eutrófico	Vermelho amarelo	Moderado
LE2	Latossolo	Média	Bem drenado	Distrófico	Vermelho escuro	Moderado
LV3	Latossolo	Média a arenosa	Drenado	Distrófico	Vermelho amarelo	Moderado a proeminente
LE3	Latossolo	Média a argilosa	Bem drenado	Distrófico	Vermelho escuro	Moderado
LV4	Latossolo	Argilosa	Bem drenado	Distrófico	Vermelho amarelo	Moderado
LE4	Latossolo	Média a arenosa	Bem drenado	Distrófico	Vermelho escuro	Moderado a proeminente
PE1	Podzólico	Média a argilosa	Drenado	Eutrófico	Vermelho escuro	Moderado
LE5	Latossolo	Média a arenosa	Bem drenado	Álico	Vermelho escuro	Moderado a proeminente
PEL2	Podzólico	Média	Drenado	Distrófico	Vermelho escuro	Moderado
LEP1	Latossolo	Média	Bem drenado	Distrófico ou álico	Vermelho escuro	Moderado
PV3	Podzólico	Média	Drenado	Distrófico	Vermelho escuro	Moderado
PV4	Podzólico	Média	Drenado	Distrófico	Vermelho escuro	Moderado

Tabela 2. Variáveis e interações significativas do modelo desenvolvido para *E. aurantiana*.

Fonte de variação	GL	Deviance	P
Modelo	182	945.626	< 0.0000
Variedade	6	104.7	< 0.0000
Solo	12	220.5	< 0.0000
Controle	1	56.2	< 0.0000
Temperatura	1	19.5	< 0.0000
Temperatura	1	79.2	< 0.0000
Variedade:temperatura	6	46.4	< 0.0000
Solo:temperatura	12	63.1	< 0.0000
Variedade:temperatura	6	15.5	0.0169
Solo:temperatura	12	47.5	< 0.0000
Variedade:solo:temperatura	47	138.4	< 0.0000
Variedade:temperatura:idade	6	14.8	0.0216
Solo:temperatura:idade	12	91.6	< 0.0000
Variedade:solo:temperatura	47	167	< 0.0000
Solo:temperatura:idade	13	22.6	0.0472
Resíduo	2965	3562.4	
Total	3147	4649.5	

Para a relação da variáveis não significativas, consultar o modelo completo em Material e Métodos.

de *E. aurantiana* foi semelhante (Tabela 3). Durante o trabalho, serão referidos esses grupos e não mais variedades de forma isolada.

Tipos de Solo. Os diversos tipos de solos foram agrupados conforme com suas similaridades estatísticas de acordo com o tipo de influência sobre a população de *E. aurantiana*. Dos 22 tipos de solos, foram definidos 13 grupos com características semelhantes para a ocorrência de *E. aurantiana* (Tabela 4). No artigo, a partir dessa definição, serão referidos grupos e não mais solos de forma isolada.

Aplicação de Agroquímicos. Após a análise de contraste para se definir como a ocorrência de *E. aurantiana* se comporta em relação à utilização ou não de agroquímicos para seu controle e se existe diferença entre os agroquímicos utilizados, chegou-se ao agrupamento final. Verificaram-se dois grupos quanto à utilização de agroquímicos para controle de *E. aurantiana*: um grupo formado pela ausência do uso de agroquímicos e outro grupo formado pelo uso dos agroquímicos à base de deltametrina (25g/l) e *B. thuringiensis* (33,6 g/l) (Tabela 5).

Terminadas todas as análises de contraste, determinou-

Tabela 3. Média \pm EP, valor máximo e mínimo de captura de machos de *E. aurantiana* em armadilhas de feromônio sexual por grupo de variedades definidos pela análise de contraste.

Grupo	Variedades	Média \pm EP (n)	Máximo	Mínimo
GV1	Cravo, Murcott, Baianinha, Westin, Tahiti e Valência Americana	4,03 \pm 0,52 (67)	22	0
GV2	Rubi	7,08 \pm 0,92 (102)	48	0
GV3	Hamlin	7,18 \pm 0,65 (190)	61	0
GV4	Valência	10,65 \pm 0,65 (367)	84	0
GV5	Pera Rio	10,75 \pm 0,45 (1077)	238	0
GV6	Valência Argentina	10,81 \pm 0,46 (897)	149	0
GV7	Natal e Valência Am. Precoce	12,90 \pm 0,69 (431)	95	0

n = número total de observações para cada grupo

Tabela 4. Média \pm EP, valor máximo e mínimo de captura de machos de *E. aurantiana* em armadilhas de feromônio sexual por grupo de solos definidos pela análise de contraste.

Grupo	Variedades	Média \pm EP (n)	Máximo	Mínimo
GS1	LV4, LE1 e TR1	4,62 \pm 0,53 (74)	29	0
GS2	LEP2	6,46 \pm 0,43 (247)	48	0
GS3	LV1 e GH	6,75 \pm 0,51 (250)	77	0
GS4	PEL2, LE4 e HO	7,72 \pm 0,71 (191)	89	0
GS5	PV4 e LR2	8,56 \pm 0,69 (289)	74	0
GS6	LEP1	9,93 \pm 1,62 (176)	238	0
GS7	LE2	10,69 \pm 1,84 (71)	87	0
GS8	PV3	11,55 \pm 0,62 (531)	109	0
GS9	LE5	11,63 \pm 0,66 (399)	149	0
GS10	LV3	12,38 \pm 0,92 (214)	84	0
GS11	LE3	13,50 \pm 1,14 (222)	88	0
GS12	AQ e HI	13,55 \pm 0,79 (316)	85	0
GS13	PE1, LR1 e TR2	14,84 \pm 1,32 (168)	110	0

n = número total de observações para cada grupo. Para referência ao tipo de solo, consultar a Tabela 1.

se o modelo final, representado pelo máximo nível de simplificação (MMAA). Uma vez definido o modelo de previsão de ocorrência de *E. aurantiana* foi necessária a confecção de equações, a partir da fórmula:

$$Coleta = e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot Temperatura + \beta_2 \cdot Temperatura^2 + \beta_3 \cdot Temperatura \cdot Idade + \beta_4 \cdot Temperatura^2 \cdot Idade}$$

onde $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ e β_4 são parâmetros estimados. Para cada combinação incluindo variedade de citros, tipo de solo e agroquímico utilizado obteve-se uma equação.

β_0 é o parâmetro que define o intercepto da curva, ou seja, o local onde a curva passa pelo eixo das ordenadas (Y). β_1 é o parâmetro responsável pelo comportamento crescente ou decrescente da curva dependendo do sinal (positivo ou negativo), sendo também responsável pela sua posição no eixo X dependendo do valor. β_2 é o parâmetro que multiplica o quadrado da temperatura; esse parâmetro é responsável pelo comportamento parabólico da curva; assim, valores positivos definem uma assintótica em Y e valores negativos definem a parábola; a grandeza desse valor também contribui para a definição da posição da curva no eixo das abscissas (X). β_3 e β_4 simplesmente modificam β_1 e β_2 , respectivamente, dependendo da idade das plantas e

temperatura utilizadas no modelo. Todos os parâmetros contribuem na definição do ponto máximo da curva (pico de ocorrência).

A influência das variáveis: variedade de citros cultivada,

idade do pomar, aplicação de agroquímicos e temperatura, sobre a ocorrência de *E. aurantiana*, foi calculada somando-se o desvio da variável isolada ao desvio de suas interações e dividindo-os pelo desvio total do modelo. A soma dos valores pode ultrapassar 100%, uma vez que existe sobreposição de desvios nas interações. Esse valor exprime a importância da variável dentro do total explicado pelo modelo, que é cerca de 20,3%.

A variedade de citros cultivada teve influência na ocorrência de *E. aurantiana*, representando cerca de 51% do total explicado pelo modelo (Tabela 2 e Figs. 2A-F). A influência da variedade de citros na ocorrência de *E. aurantiana* pode estar relacionada à diferença de pH e espessura da casca, características que afetam diretamente a sobrevivência dos estágios imaturos da praga (Parra et al. 2001). As variações na temperatura na qual ocorre o pico

Tabela 5. Média \pm EP, valor máximo e mínimo de captura de machos de *E. aurantiana* em armadilhas de feromônio sexual por grupo definidos pela análise de contraste para o uso ou não de métodos de controle.

Grupos	Métodos de controle	Média \pm EP (n)	Máximo	Mínimo
GC1	Nenhum controle	9,2 \pm 0,26 (1888)	109	0
GC2	Aplicação de Decis25CE (25 g/l) e Dipel (33,6 g/l)	12,6 \pm 0,46 (1260)	238	0

n = número total de observações para cada grupo

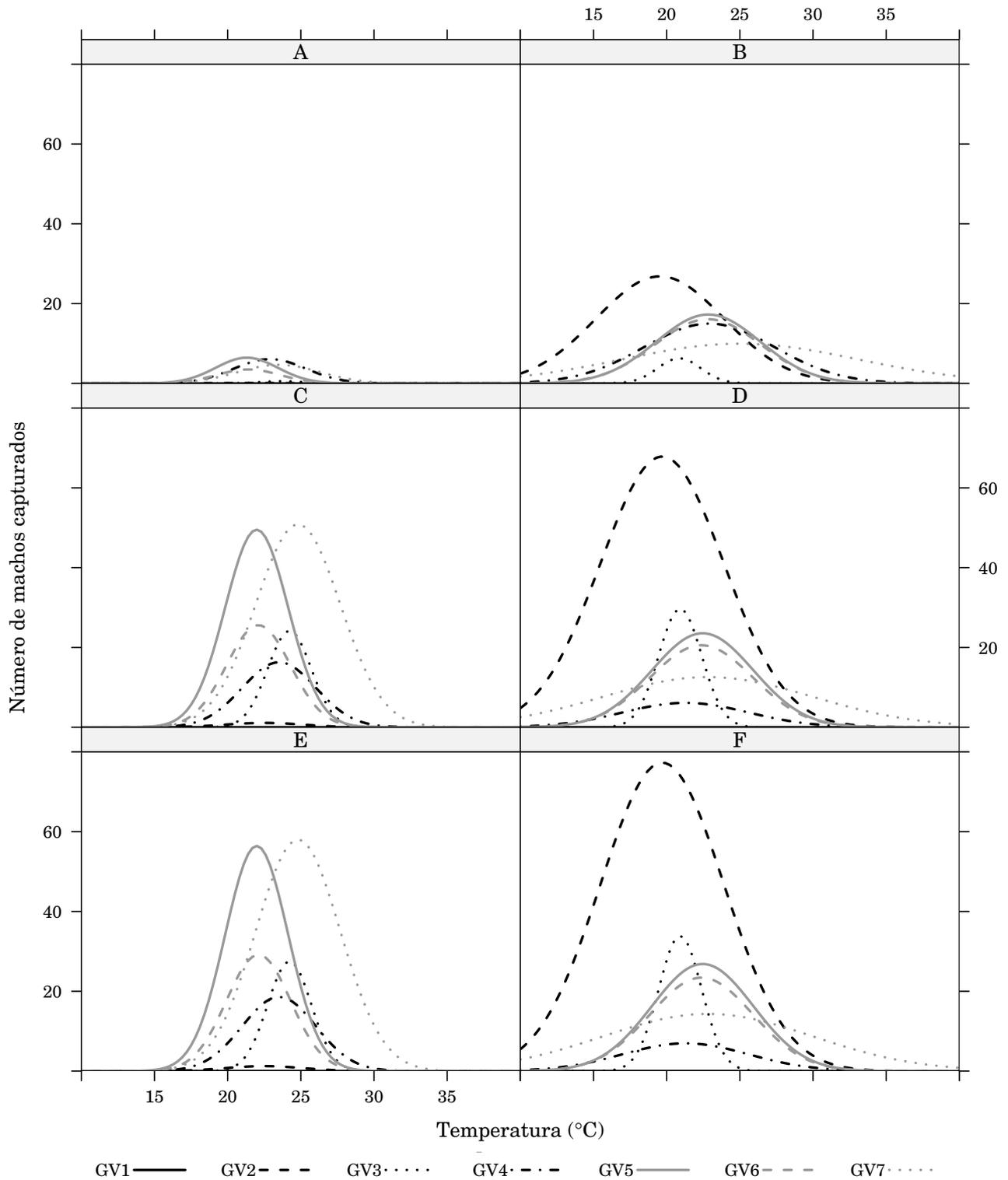


Figura 2. Estimativas de ocorrência de *E. aurantiana* em função da temperatura, tipos de solo, variedades de citros, aplicação de agroquímicos e idades das plantas. A, C e E - Tipo de solo GS6 (LEP1); B, D e F - Tipo de solo GS9 (LE5); A e B - Plantas com 10 anos de idade; C, D, E e F - Plantas com 15 anos de idade; A, B, C e D - Sem aplicação de agroquímicos para controle de *E. aurantiana* ; E e F - Com aplicação de agroquímicos para controle de *E. aurantiana*.

populacional podem estar relacionadas ao fato de as variedades frutificarem em épocas diferentes (Gallo *et al.* 1977), propiciando uma época de ocorrência de *E. aurantiana* para cada variedade; embora o bicho-furão ataque também frutos verdes quando em altas populações, sua preferência é por frutos maduros (Parra *et al.* 2001).

O tipo de solo encontrado na área, onde foram coletados os machos de *E. aurantiana* influenciou a ocorrência do inseto (Tabela 2). Essa variável teve a maior influência na ocorrência de *E. aurantiana*, representando cerca de 79% dentre as variáveis (Figs. 2A,B; C,D e E,F). A maior influência pode ter ocorrido porque o tipo de solo afeta *E. aurantiana* diretamente e indiretamente. A influência direta pode estar relacionada ao comportamento do inseto, que se transforma em pupa no solo; assim, a sobrevivência da pupa estaria intimamente ligada às características físico-químicas do solo (Garcia 1998). A influência indireta pode estar ligada ao fato de o tipo de solo poder alterar as características dos frutos (Erickson 1973), incluindo o seu pH, afetando a sobrevivência dos estágios imaturos de *E. aurantiana* (Parra *et al.* 2001).

A idade do pomar também teve uma pequena influência, na forma de interações, na presença de *E. aurantiana* (Tabela 2), com aproximadamente 14% (Figs. 2A,C e B,D). A influência da idade muito provavelmente está relacionada com a maior produção de frutos em plantas mais velhas (Tubelis & Salibe 1989, 1992; Tubelis *et al.* 1999); assim, as plantas mais velhas apresentariam maior população de *E. aurantiana* por possuírem mais recursos a serem explorados.

A aplicação de agroquímicos para controle de *E.*

aurantiana foi o que menos influenciou a ocorrência do inseto (Tabela 2), sendo responsável por apenas 5% da mesma (Figs. 2C,E e D,F). Os locais onde houve a aplicação de produtos à base de *B. thuringiensis* (33,6 g/l) ou deltametrina (25 g/l) apresentaram a maior ocorrência do inseto, comparados com locais onde não houve aplicação. Isso sugere que a ocorrência da praga é mais freqüente em algumas áreas do que em outras, apesar do número maior de pulverizações nas áreas mais infestadas, com base no nível de controle de seis ou mais machos por armadilha por semana de acordo com a metodologia de Bento *et al.* (2001a,b). A presença da praga não indica, necessariamente, que os produtos utilizados foram ineficientes. Nas áreas com maior incidência e, que conseqüentemente, demandaram maior número de aplicações de agroquímicos diversos fatores poderiam estar influenciando, tais como presença de matas próximas, áreas de baixada e época de colheita, dentre outras. Além disso, a escolha do produto, modo e momento de aplicação (dias após a constatação do nível de controle) e dose, poderiam comprometer a eficiência do mesmo, ou ainda, a eliminação de inimigos naturais por aplicações sucessivas na área, resultaria em maior incidência da praga.

A temperatura influenciou a captura de machos de *E. aurantiana* (Tabela 2), explicando cerca de 75% da variação no referido modelo. Esse resultado era esperado, pois é sabido que os insetos em geral respondem de forma acentuada a esse parâmetro climático, o mesmo ocorrendo para o bicho-furão (Garcia 1998). A partir dos resultados obtidos por esse autor, elaborou-se a Fig. 3, utilizando-se modelos lineares

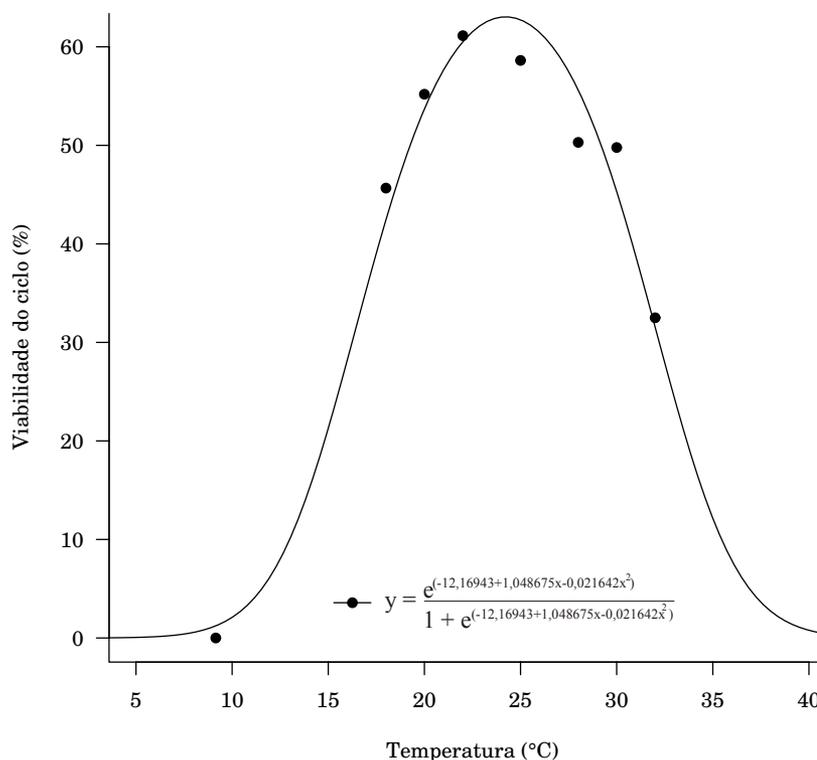


Figura 3. Viabilidade do ciclo de *E. aurantiana* em relação à temperatura. Estimativa feita a partir de resultados de laboratório (Garcia 1998)

generalizados com distribuição binomial (Crawley 2002). Contatou-se a relação entre a temperatura e viabilidade do ciclo de *E. aurantiana*. Assim, no presente trabalho, o objetivo não foi testar apenas se o inseto respondeu à temperatura, mas como e quanto as outras variáveis influenciaram essa resposta, levando a variações da curva (Fig. 2).

A interação da variedade de citros com a temperatura indicou, principalmente, que o pico de ocorrência de *E. aurantiana* e a temperatura em que ocorre não são os mesmos para todas as variedades. Assim, a variedade Natal pode ter um pico de ocorrência em torno de 25°C, enquanto que para a variedade Pera Rio o pico foi em torno de 22°C (Fig. 2C).

A interação do tipo de solo com a temperatura indica que a mesma variedade de citros, plantada em diferentes tipos de solo, pode levar a distintos padrões de ocorrência de *E. aurantiana*. Isso pode ser notado tanto no pico de ocorrência, quanto na temperatura relacionada ao pico. Assim, a variedade Rubi plantada em solo tipo LEP1 (GS6) teve o pico de ocorrência em torno de 18 insetos para temperatura em torno de 24°C (Fig. 2C). A mesma variedade, plantada em solo tipo LE5 (GS9), teve um pico de ocorrência maior, em torno de 70 insetos para temperatura em torno de 20°C (Fig. 2D).

A interação da variedade com o tipo de solo e com a temperatura aumentam as diferenças já definidas pelas interações anteriores.

A interação da variedade com a idade e com a temperatura e a interação do tipo de solo com a idade e com a temperatura modificam a magnitude e a temperatura do pico de ocorrência, para cada variedade em cada tipo de solo, dependendo da idade das plantas. Assim, de modo geral, com o aumento da idade das plantas, observa-se um aumento no pico de ocorrência (maior ocorrência de *E. aurantiana*) e na temperatura onde o pico populacional ocorre (Figs. 2A,C e B,D).

Assim, as variáveis: variedade de citros, tipo de solo, idade da planta e temperatura influenciam a ocorrência de *E. aurantiana* no campo, não apenas isoladamente, mas também interagindo entre si.

Apesar de essas variáveis explicarem parte (20,3%) da ocorrência de *E. aurantiana* no campo, o modelo ainda necessita ser aprimorado, especialmente através da formação de um banco de dados contendo informações sobre a ocorrência de *E. aurantiana* por períodos mais longos, visando a maior eficiência na previsão da praga. Além do levantamento populacional de *E. aurantiana*, necessita-se ainda da coleta de dados do local, incluindo temperatura, umidade relativa do ar, tipo de solo, variedade, aplicação de agroquímicos, etc. Quanto maior for o número de variáveis, mais prático será confeccionar modelos que expliquem a ocorrência de *E. aurantiana*.

Pesquisas complementares de laboratório também são importantes para a otimização do modelo, incluindo a susceptibilidade de variedades ao ataque da praga, efeito do tipo de solo na emergência de adultos, e outros aspectos da biologia, comportamento e ecologia do inseto.

O modelo é ainda muito restrito e não é adequado para o uso imediato no campo. Pode ser utilizado para a elaboração de novas hipóteses que após testadas poderão retornar ao modelo de forma a aumentar sua eficiência. Como exemplo

prático da sua potencial utilização, pode-se usar o caso de um agricultor que esteja interessado em conhecer o potencial de ocorrência de *E. aurantiana* em sua propriedade. Esta localiza-se na latitude sul (22°4'50"), longitude oeste (48°39'33.84"), altitude de 650 m e a 400 km de distância do oceano. Os três primeiros parâmetros (latitude, longitude e altitude) são conseguidos com o uso de um aparelho de GPS. O último parâmetro pode ser calculado com programas contendo mapas e coordenadas geográficas ou mesmo medindo-se em um mapa que se tenha escala. Para utilizar os dados de latitude e longitude, é necessário também transformá-los do formato GMS (graus, minutos e segundos) para minutos. Assim:

$$\text{latitude (minutos)} = 22 \cdot 60 + 4 + \frac{50}{60} = 1324,83$$

$$\text{longitude (minutos)} = 48 \cdot 60 + 39 + \frac{33,84}{60} = 2919,56$$

Além desses parâmetros geográficos são necessárias informações sobre o tipo de solo da área, variedade de citros cultivada, idade do pomar. Considere-se que o referido agricultor possui em sua propriedade uma variedade Pera Rio (GV5), solo LE2 (GS7), (Tabela 1), pomar com 15 anos e ele não usa nenhum agroquímico para controle de *E. aurantiana*.

Para simular o potencial de ocorrência de *E. aurantiana* no local ele necessitará de um computador que tenha o programa R (www.r-project.org) instalado. A seguir ele deverá copiar o conteúdo do programa BF, para um arquivo com um editor de texto, e gravar o arquivo, no formato texto puro (ASCII, TXT), com o nome que ele achar mais conveniente (ex. BF.R). O programa R é aberto a seguir, lendo-se o arquivo que foi gravado [ex. source("BF.R")]; assim, o programa que simula o potencial de ocorrência de *E. aurantiana* terá sido carregado na memória.

Para utilizar o programa e simular a ocorrência de *E. aurantiana* para o agricultor, digita-se o seguinte:

```
BF(agroquimico="sem", solo="GS7", variedade=GV5",
idade=15)
```

Portanto, foram utilizados GS7 e GV5 para designar o tipo de solo e a variedade respectivamente, ao invés de LE2 e Pera Rio. Para saber a qual grupo a variedade e o solo pertencem, basta consultar as Tabelas 3 e 4, respectivamente. Assim, ele terá uma curva de ocorrência de *E. aurantiana* em função da temperatura (Fig. 4A).

O referido agricultor poderá, a seguir, desejar saber a dinâmica populacional de *E. aurantiana* ao longo do ano. Para tal, deverá fornecer as características geográficas da sua região, da seguinte forma:

```
BF(agroquimico="sem", solo="GS7", variedade=GV5",
idade=15, latitude=1324.83, longitude=2919.56,
altitude=650, doceano=400, mensal=TRUE)
```

Será então gerado um gráfico com o nível populacional de *E. aurantiana* ao longo do ano, evidenciando quais as épocas em que o inseto irá causar maior dano (Fig. 4B).

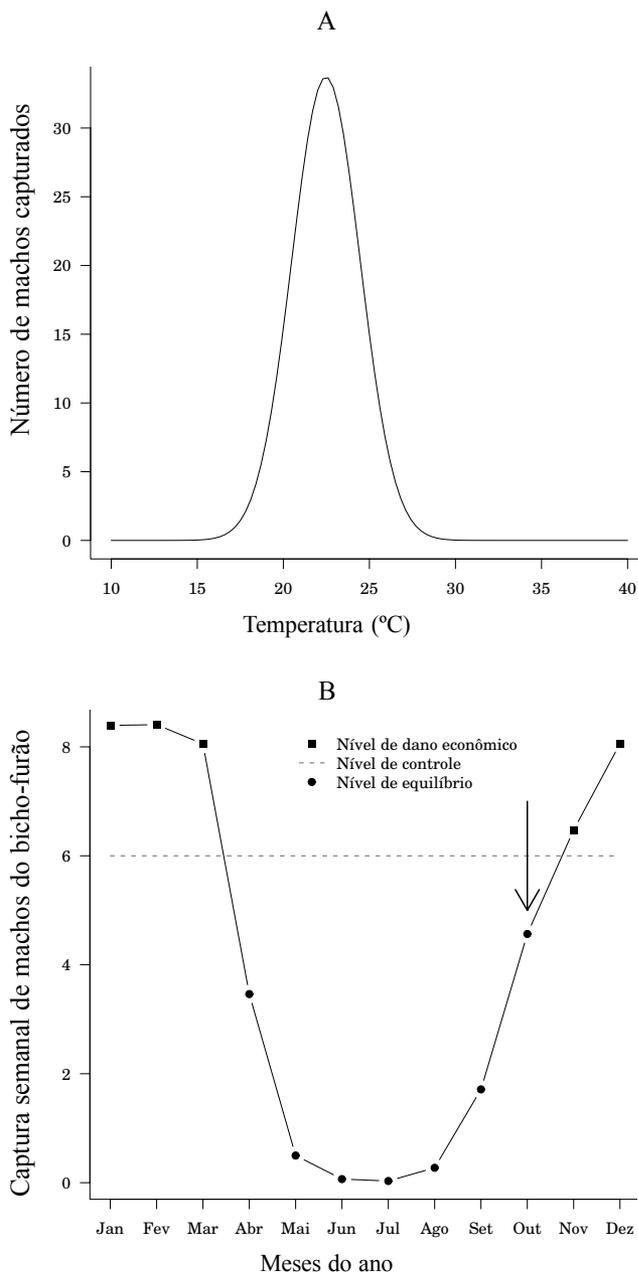


Figura 4. A - Estimativas de ocorrência de *E. aurantiana* (número de machos por armadilha por mês) em função da temperatura. B - Estimativas de ocorrência de *E. aurantiana* durante o ano (número de machos por armadilha por semana). A seta indica que o agricultor deve estar alerta, instalando armadilhas de feromônio na área, a partir desta data. Estimativa feita para a variedade Pera Rio (GV5), solo tipo LE2 (GS7) e idade do pomar de 15 anos.

Desta forma, o agricultor poderá intensificar sua amostragem com armadilhas de feromônio sexual nas épocas críticas.

É importante ressaltar que, apesar do exemplo prático de utilização, o modelo ainda é experimental e necessita de mais dados, tanto espacialmente quanto temporalmente, para seu aperfeiçoamento e uso prático.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa e a Amanda Fialho e Lucas C. C. Reis pelo apoio ao trabalho. Os autores agradecem a Evaldo F. Vilela pela leitura crítica do artigo, à Fisher e ao Fundecitrus pelo suporte e à comunidade de software livre pelos programas utilizados (R, LaTeX2e, XEmacs, Debian GNU/Linux, Grass, GPSman).

Literatura Citada

- Acuña, S.T. & G. Barchini de Giménez. 1996.** Simulation model for integrated pest management of agricultural ecosystems. *Bol. San. Veg. Plagas* 22: 761-772.
- Anônimo. 2000.** Tecnologia contra o bicho-furão. *Rev. Fundecitrus* 96: 8-10.
- Bento, J.M.S., E.F. Vilela, J.R.P. Parra & W.S. Leal. 2001a.** Monitoramento do bicho-furão-dos-citros com feromônio sexual: Bases comportamentais para utilização dessa nova estratégia. *Laranja* 22: 351-366.
- Bento, J.M.S., J.R.P. Parra, E.F. Vilela, J.M. Walder & W.S. Leal. 2001b.** Sexual behavior and diel activity of citrus fruit borer *Ecdytolopha aurantiana*. *J. Chem. Ecol.* 27: 2053-2065.
- Crawley, M. 2002.** Statistical computing: An introduction to data analysis using S-Plus. John Wiley & Sons Inc., Baffins Lane, 761p.
- Erickson, L.C. 1973.** The general physiology of citrus, p.86-126. In W. Reuther (ed.), *The citrus industry: Anatomy, physiology, genetics, and reproduction*. Berkeley, University of California, 732p.
- Gallo, J.R., O. Rodriguez, A.P. Camargo & T. Igue. 1977.** Variações anuais na produção de frutas e concentração de macronutrientes em folhas de citros, relacionadas ao balanço hídrico meteorológico e adubação, no período de 1957 a 1975. *Bragantia* 36: 271-289.
- Garcia, M.S. 1998.** Bioecologia e potencial de controle biológico de *Ecdytolopha aurantiana* (Lima, 1927) (Lepidoptera: Tortricidae), o bicho furão dos citros, através de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, 118p.
- Gutierrez, A.P., B. Wermelinger, F. Schulthess, J.U. Baumgaertner, H.R. Herren, C.K. Ellis & J.S. Yaninek. 1988a.** Analysis of biological control of cassava pests in Africa. I. Simulation of carbon, nitrogen and water dynamics in cassava. *J. Appl. Ecol.* 25: 901-920.
- Gutierrez, A.P., E.J. Mariot, J.R. Cure, C.S.W. Riddle, C.K. Ellis & A. Villacorta M. 1994.** A model of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth types I-III: Factors

affecting yield. *Agr. Syst.* 44: 35-63.

- Gutierrez, A.P., J.S. Yaninek, B. Wermelinger, H.R. Herren & C.K. Ellis. 1988b.** Analysis of biological control of cassava pests in Africa. III. Cassava green mite *Mononychellus tanajoa*. *J. Appl. Ecol.* 25: 941-950.
- Gutierrez, A.P., J.S. Yaninek, P. Neuenschwander & C.K. Ellis. 1999.** A physiologically-based tritrophic metapopulation model of the african cassava food web. *Ecol. Model.* 123: 225-242.
- Gutierrez, A.P., P. Neuenschwander, F. Schulthess, H.R. Herren, J.U. Baumgaertner, B. Wermelinger, B. Löhr & C.K. Ellis. 1988c.** Analysis of biological control of cassava pests in Africa. II. Cassava mealybug *Phenacoccus manihoti*. *J. Appl. Ecol.* 25: 921-940.
- Gutierrez, A.P., W.J. dos Santos, A. Villacorta M., M.A. Pizzamiglio, C.K. Ellis, L.H. Carvalho & N.D. Stone. 1991a.** Modelling the interaction of cotton and the cotton boll weevil. 1. A comparison of growth and development of cotton varieties. *J. Appl. Ecol.* 28: 371-397.
- Gutierrez, A.P., W.J. dos Santos, M.A. Pizzamiglio, A. Villacorta M., C.K. Ellis, C.A.P. Fernandes & I. Tutida. 1991b.** Modelling the interaction of cotton and the cotton boll weevil. II. Bollweevil (*Anthonomus grandis*) in Brazil. *J. Appl. Ecol.* 28: 398-418.
- Ihaka, R. & R. Gentleman. 1996.** R: A language for data analysis and graphics. *J. Comput. Graph. Stat.* 5: 299-314.
- Leal, W.S., J.M.S. Bento, Y. Murata, M. Ono, J.R.P. Parra & E.F. Vilela. 2001.** Identification, synthesis, and field evaluation of the sex pheromone of the citrus fruit borer *Ecdytolopa aurantiana*. *J. Chem. Ecol.* 27: 2041-2051.
- Parra, J.R.P., P. Kasten Jr., R.M.S. Molina & M.L. Haddad. 2001.** Efeito do pH no desenvolvimento do bicho-furão. *Laranja* 22: 299-320.
- Pinto, W.B.S. 1994.** “Bicho-furão” considerado hoje uma das principais pragas da nossa citricultura. *Laranja* 38: 4-5.
- Prates, H.S. & W.B.S. Pinto. 1991.** “Bicho-furão” - um grave problema para a citricultura paulista. *Laranja* 12: 425-434.
- Tubelis, A. & A.A. Salibe. 1989.** Relações entre a produção de laranja Hamlin e as precipitações mensais no altiplano de Botucatu. *Pesq. Agropec. Bras.* 24: 801-806.
- Tubelis, A. & A.A. Salibe. 1992.** Relações entre a produção de laranja Baianinha, a idade e as precipitações mensais no altiplano de Botucatu, SP. *Pesq. Agropec. Bras.* 27: 703-707.
- Tubelis, A., A.A. Salibe & G. Pessim. 1999.** Relações entre a produção de laranja “Westin” e as precipitações em Botucatu, SP. *Pesq. Agropec. Bras.* 34: 771-779.
- Vasconcelos, R. & J.R. Tarifa. 1983.** Estimativas e representação das temperaturas no Brasil. *Rev. Depto. Geografia USP* 2: 19-43.

Received 15/VII/04. Accepted 14/III/05.