

**XIV Congresso Ibero
Latino-Americano de
Métodos Computacionais
em Engenharia**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
São Paulo - SP - Brasil
1 a 3 de dezembro de 1993

"UTILIZAÇÃO DE SISTEMA ESPECIALISTA EM SIMULAÇÃO NUMÉRICA: UMA FERRAMENTA AUXILIAR NO ACOMPANHAMENTO DA DINÂMICA POPULACIONAL DO BICUDO DO ALGODOEIRO."

Maria Conceição P. Young Pessoa	1,2
João Frederico Costa Azevedo Meyer	3
Jurandir F.R. Fernandes	1
Ivo Pierozzi Júnior	2
Mohamed E. M. Habib	4
1- DENSIS-FEE/UNICAMP , CP: 6101, CEP: 13.081-970	CAMPINAS/SP
2- NMA/EMBRAPA , CP: 491, CEP: 13.001-970	CAMPINAS/SP
3- MACC-IMECC/UNICAMP, CP: 6065, CEP: 13.081-970	CAMPINAS/SP
4- IB-UNICAMP, CP: 6109, CEP: 13.081-970	CAMPINAS/SP

SUMÁRIO

Este trabalho apresenta os modelos matemáticos dinâmicos discretos compartimentais, desenvolvidos para caracterizar a dinâmica populacional do bicudo do algodoeiro e a disponibilidade de estruturas frutíferas da planta do algodão para ataque do inseto visando simulação numérica. A influência de fatores ambientais abióticos são inseridos como variáveis exógenas, onde a temperatura é avaliada em unidades de graus-dia e a pluviosidade por variáveis estocásticas.

1. INTRODUÇÃO

O algodão ocupa o sétimo lugar entre as culturas comercialmente exploradas no território brasileiro, colocando o país entre os dez maiores produtores mundiais.

Entretanto, o crescente desestímulo decorrente de dificuldades financeiras no cultivo, geradas por financiamentos de custeios, preços de comercialização desfavoráveis e gastos adicionais com aplicações de inseticidas, entre outros motivos, vem provocando crescente redução na área plantada dessa cultura.

Estes problemas agravaram-se depois do aparecimento do bicudo do algodoeiro, Anthonomus grandis Boheman (Coleoptera, Curculionidae), nos algodoais da região de Campinas/SP, durante a safra de 1982/1983, e sua posterior proliferação para outros estados do país, onde a elevação de custos adicionais, associados ao seu controle populacional através de controle químico, tornou-se quase insustentável.

Desde então, pesquisadores vêm estudando o comportamento

populacional do bicudo no ambiente brasileiro, seus hábitos alimentares e reprodutivos, bem como outros aspectos da sobrevivência da praga nesse novo ambiente, apresentando alternativas de convívio com sua presença nas lavouras e minimizando os custos envolvidos.

Decorrentes desse esforço, surgiram novas opções de controle da praga envolvendo métodos culturais, biológicos, químicos, físicos etc. Porém, algumas dessas técnicas, quando empregadas de forma isolada, interferem sobremaneira no meio ambiente causando graves impactos ambientais e econômicos, inversamente esperados na sua utilização. O uso intensivo e contínuo de inseticidas químicos além de destruir a fauna benéfica provocam problemas de saúde humana e contaminações no ambiente, refletindo os aspectos negativos de utilização descriteriosa desses recursos.

A alternativa dada por especialistas é o Manejo Integrado de Pragas (MIP), uma integração de diferentes métodos de controle, levando em consideração as características de cada ambiente infestado pela praga. Nesta proposta, a utilização de inseticidas é orientada por indicadores ecológicos, econômicos e sociais da região. Surgiram, assim, vários trabalhos testando formas alternativas de MIP para as principais regiões infestadas pela praga.

No Estado de São Paulo, especialmente na região de Campinas, onde a praga foi detectada pela primeira vez, um razoável número de trabalhos apresentam dados quantitativos e qualitativos sobre aspectos da bioecologia da praga (HABIB et al., 1984; PIEROZZI JR., 1985; GUTIERREZ, 1986; PIEROZZI JR., 1989). Dados sobre fatores abióticos e bióticos atuantes no agroecossistema algodoeiro, tais como os elementos climatológicos, além de aspectos de fisiologia do desenvolvimento e fenologia das variedades de algodoeiros cultivadas, encontram-se disponíveis em várias instituições (IAC, UNICAMP etc.). Todas essas informações já subsidiaram a elaboração de programas de MIP para algodoeiros infestados pelo *A. grandis* nesta região e permitiram sugerir para esta praga o Limiar Econômico de Dano (LED) e o Nível Econômico de Dano (NED) (PIEROZZI JR., 1985, 1989).

Assim, baseando-se neste acervo de informações, apresenta-se no presente trabalho as equações que representam os estágios fenológicos de desenvolvimento do algodoeiro, incluindo a disponibilidade potencial e a taxa diária de aparecimento de botões florais, bem como os modelos matemáticos dinâmicos compartimentais que representam o ciclo evolutivo do bicudo, visando simulação numérica da interação da praga com o seu ambiente.

Esta ferramenta adicional permitirá o monitoramento quantitativo da praga por simulação, bem como a análise de seu comportamento diante de adversidades geradas aleatoriamente para o meio ambiente. A análise da influência da temperatura na duração das fases dos ciclos de vida da praga e da planta está baseada na utilização de unidades de graus-dia, enquanto que a ocorrência ou não de precipitações pluviométricas é representada por variáveis estocásticas, em unidades de mm diários de chuva.

As variedades de algodoeiro consideradas neste estudo foram o IAC-17 e/ou IAC-20 e a proposta de MIP é aquela apresentada por PIEROZZI JR. (1985;1989) para a região de Campinas/SP.

Os dados de entrada do sistema são fornecidos pelo usuário a partir de informações quantitativas de estruturas da planta danificadas pelo bicudo (botões florais e/ou frutos do algodoeiro).

Estas informações estimam a população inicial da praga presente na lavoura, em cada uma de suas fases de desenvolvimento. Posteriormente, dá-se sequência à dinâmica imposta ao sistema, onde cada estado do sistema é analisado pelo especialista, representado por um Sistema Especialista acoplado ao sistema principal. Ao ser detectado o instante onde a população da praga aciona o LED, o sistema especialista analisa as condições ambientais operantes, indicando a necessidade ou não das pulverizações de inseticidas químicos contra o inseto.

O programa computacional está sendo desenvolvido em linguagem C, ambiente SUN 4, podendo facilmente ser alterado para ambiente PC XT/AT, permitindo agilizar sua difusão.

2. FATORES ABIÓTICOS DO MEIO

Localizada no sudeste do Estado de São Paulo, a região de Campinas mostrou-se favorável ao estabelecimento do bicudo em seus algodoais.

No início da safra de algodão em Campinas, recomendado para setembro/outubro, a temperatura média oscila na faixa de 22-25 graus Celsius, considerada apropriada ao desenvolvimento da planta e do inseto.

Assim sendo, permite-se também neste trabalho avaliar-se a influência da temperatura na aceleração ou retardamento da duração dessas fases de desenvolvimento, quantificando-a em graus-dia (GD). Esta unidade de medida representa a quantidade de temperaturas favoráveis ao desenvolvimento de um determinado organismo, isto é, temperaturas acima da temperatura base estabelecida para as fases de seu desenvolvimento.

O GD é calculado a partir de fórmulas que levam em consideração as temperaturas máxima e mínima diárias, bem como a temperatura base para o organismo considerado. No presente trabalho foi seguido o método apresentado por SILVEIRA NETO et al. (1976).

Dados fornecidos pela Seção de Climatologia Agrícola do IAC/Campinas permitiram analisar a temperatura diária dos últimos dez anos em Campinas.

Além disso, dados relativos a pluviosidade também foram fornecidos pela referida instituição, permitindo caracterizar as distribuições de probabilidades mensais de chuvas. Dessa forma, variáveis estocásticas com distribuição de Bernoulli e exponencial negativa não trivial geram valores diários dentro dos parâmetros mensais estabelecidos pelas análises efetuadas, permitindo-se analisar a interação inseto/planta frente a ocorrência de chuvas. Este fator é fundamental visto que as aplicações de inseticidas não apresentam os efeitos esperados na incidência de pancadas ocasionais que geralmente ocorrem no período dos ciclos de desenvolvimento da planta do algodoeiro.

3. O ALGODÃO

As variedades de algodoeiro predominantemente plantadas na região de Campinas são IAC-17 e/ou IAC-20.

Basicamente ambas apresentam o mesmo tempo de duração de seus estágios de desenvolvimento sendo que as principais diferenças estão nas fibras mais resistentes e menor vulnerabilidade a nematóides apresentadas pelo IAC-20.

Os tempos médios de duração dos estágios de desenvolvimento da planta dessa variedade foram divididos em fases de duração média (PESSOA et al., 1992).

No presente trabalho, as curvas que representam a disponibilidade semanal potencial de botões florais e a taxa diária de nascimento de novos botões foram estimadas pelo Método dos Mínimos Quadrados a partir de MARUR (1980) e são apresentadas abaixo respectivamente pelas equações:

$$(3.1) y(id_x) = 10,42 \exp(-((id_x - 30,22)/20,68)^2)$$

$$(3.2) nasc(id_x) = -0.0487 (id_x - 30,22) \exp(-((id_x - 30,22)/20,68)^2)$$

onde id_x é o número de dias decorrentes desde o aparecimento do primeiro botão floral. Estas equações apresentam 5,6% de erro de ajuste aos dados originais.

Sabe-se que a planta do algodoeiro perde 50-70% de sua capacidade total de formação de botões florais sem o comprometimento final da sua produção. Além disso, após o aparecimento dos primeiros frutos verdes na lavoura, a planta passa a eliminar botões novos na mesma taxa de aparecimento de frutos verdes. Dessa forma, embora possa existir o aparecimento de botões após os 86 dias desde o aparecimento do primeiro botão floral na lavoura, estes botões caem ao solo com muita facilidade não sendo observados em quantidades expressivas na planta.

Em termos de necessidade de graus dia, os compartimentos representativos das fases de desenvolvimento do algodão são apresentados na Fig. 3.1, onde as fases mais susceptíveis a quedas e ataques do bicudo são ressaltadas.

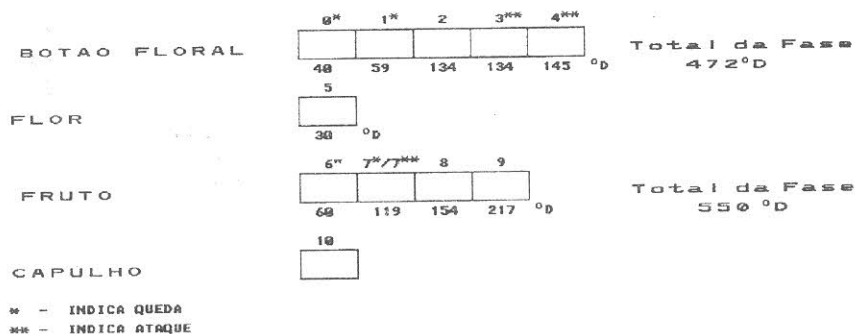


FIGURA 3.1: FASES DO ALGODÃO EM GRAUS-DIA.

O modelo matemático proposto para o algodão é apresentado a seguir:

$$\begin{aligned} \text{alg0}[t+1, \text{sgd}] &= \text{nasc}(\text{id}_x) + (1 - \text{fato})\text{alg0}[t, \text{sgd}] - \\ &\quad - \text{Ppas} \text{alg0}[t, \text{sgd}]; \\ \text{alg1}[t+1, \text{sgd}] &= \text{Ppas} \text{alg0}[t, \text{sgd}] + (1 - \text{fat1})\text{alg1}[t, \text{sgd}] - \\ &\quad - \text{Ppas} \text{alg1}[t, \text{sgd}]; \\ \text{alg2}[t+1, \text{sgd}] &= \text{Ppas} \text{alg1}[t, \text{sgd}] + (1 - \text{fat2})\text{alg2}[t, \text{sgd}] - \\ &\quad - \text{Ppas} \text{alg2}[t, \text{sgd}]; \\ \text{alg3}[t+1, \text{sgd}] &= \text{Ppas} \text{alg2}[t, \text{sgd}] + (1 - \text{fat3})\text{alg3}[t, \text{sgd}] - \\ &\quad - \text{Ppas} \text{alg3}[t, \text{sgd}]; \\ \text{alg4}[t+1, \text{sgd}] &= \text{Ppas} \text{alg3}[t, \text{sgd}] + (1 - \text{fat4})\text{alg4}[t, \text{sgd}] - \\ &\quad - \text{Ppas} \text{alg4}[t, \text{sgd}]; \\ \text{alg5}[t+1, \text{sgd}] &= \text{Ppas} \text{alg4}[t, \text{sgd}] + (1 - \text{fat5})\text{alg5}[t, \text{sgd}] - \\ &\quad - \text{Ppas} \text{alg5}[t, \text{sgd}]; \\ \text{alg6}[t+1, \text{sgd}] &= \text{Ppas} \text{alg5}[t, \text{sgd}] + (1 - \text{fat6})\text{alg6}[t, \text{sgd}] - \\ &\quad - \text{Ppas} \text{alg6}[t, \text{sgd}]; \\ \text{alg7}[t+1, \text{sgd}] &= \text{Ppas} \text{alg6}[t, \text{sgd}] + (1 - \text{fat7})\text{alg7}[t, \text{sgd}] - \\ &\quad - \text{Ppas} \text{alg7}[t, \text{sgd}]; \\ \text{alg8}[t+1, \text{sgd}] &= \text{Ppas} \text{alg7}[t, \text{sgd}] + (1 - \text{fat8})\text{alg8}[t, \text{sgd}] - \\ &\quad - \text{Ppas} \text{alg8}[t, \text{sgd}]; \\ \text{alg9}[t+1, \text{sgd}] &= \text{Ppas} \text{alg8}[t, \text{sgd}] + (1 - \text{fat9})\text{alg9}[t, \text{sgd}] - \\ &\quad - \text{Ppas} \text{alg9}[t, \text{sgd}]; \\ \text{alg10}[t+1, \text{sgd}] &= \text{Ppas} \text{alg9}[t, \text{sgd}] + (1 - \text{fat10})\text{alg10}[t, \text{sgd}] - \\ &\quad - \text{colhido}[t]; \end{aligned}$$

onde:

Ppas = instante de passagem para outro compartimento;

$\text{algi}[t+1, \text{sgd}]$ = quantidade de algodão do tipo i presente no instante $t+1$, com sgd graus dias acumulados;

fati = fatores de ausência de elementos do tipo i ;

4. O BICUDO

O bicudo do algodoeiro (Anthonomus grandis Boheman) é um inseto fitófago, cujos hábitos reprodutivos e alimentares mostram-se altamente correlacionados à disponibilidade de botões florais e frutos verdes da lavoura de algodão. Embora possa alimentar-se de outras plantas da família das Malváceas (PIEROZZI JR, 1985;1989), a fêmea necessita da dieta de pólen presente nos botões florais do algodoeiro, para que seus ovos se desenvolvam apropriadamente. Sabe-se que as estruturas florais e frutíferas do algodoeiro não são o único recurso utilizado para a reprodução da espécie (PIEROZZI JR, 1985, 1989), mas as outras opções são mais

raras na região. Dessa forma, os danos causados nos algodoads são detectados logo nas primeiras semanas de aparecimento dos botões florais.

Em termos de necessidades de graus-dia (GD), as principais etapas de desenvolvimento do bicudo são apresentadas na Fig.4.1.

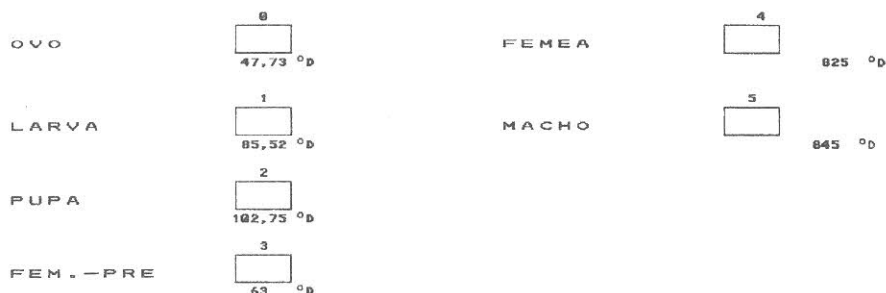


FIGURA 4.1: FASES DE DESENVOLVIMENTO DO BICUDO EM GD NECESSÁRIOS.

O modelo matemático discreto do tipo compartimental elaborado para o inseto é apresentado abaixo.

$$\text{bic}_0[t+1, \text{gd}_0] = \text{ovip bic}_4[t, \text{gd}_4](\text{alg_disp}[t, \text{sgd}]) + (1-\text{fata}_0)\text{bic}_0[t, \text{gd}_0] - \text{Ppas}_0 \text{bic}_0[t, \text{gd}_0];$$

$$\text{bic}_1[t+1, \text{gd}_1] = \text{Ppas}_0 \text{bic}_0[t, \text{gd}_0] + (1-\text{fat}_1)\text{bic}_1[t, \text{gd}_1] - \text{Ppas}_1 \text{bic}_1[t, \text{gd}_1];$$

$$\text{bic}_2[t+1, \text{gd}_2] = \text{Ppas}_1 \text{bic}_1[t, \text{gd}_1] + (1-\text{fat}_2)\text{bic}_2[t, \text{gd}_2] - \text{Ppas}_2 \text{bic}_2[t, \text{gd}_2];$$

$$\text{bic}_3[t+1, \text{gd}_3] = \text{rs bic}_2[t, \text{gd}_2] + (1-\text{fat}_3)\text{bic}_3[t, \text{gd}_3] - \text{Ppas}_3 \text{bic}_3[t, \text{gd}_3] + \text{fatau}_3;$$

$$\text{bic}_4[t+1, \text{gd}_4] = \text{Ppas}_3 \text{bic}_3[t, \text{gd}_3] + (1-\text{fat}_4)\text{bic}_4[t, \text{gd}_4] + \text{fatau}_4;$$

$$\text{bic}_5[t+1, \text{gd}_5] = (1-\text{rs}) \text{bic}_2[t, \text{gd}_2] + (1-\text{fat}_5)\text{bic}_5[t, \text{gd}_5] + \text{fatau}_5;$$

onde :

bic_i = quantidade de elementos do tipo i presentes no instante $t+1$, com gd_i graus dias acumulados;

fat_i = fatores de ausência dos elementos de tipo i (mortalidade por inseticida, diapausa etc.);

fatau_i = fatores de aumento dos elementos de tipo i (saída de diapausa etc.);

rs = razão sexual;

5. O SISTEMA ESPECIALISTA

O Sistema Especialista é considerado atualmente a técnica de Inteligência Artificial (IA) mais difundida.

Trata-se basicamente de um sistema onde informações a respeito de um domínio do conhecimento são armazenadas por especialistas, permitindo resgatá-las mediante a apresentação de fatos, fornecidos pelo usuário, que serão associados ao conhecimento previamente armazenado para posterior diagnóstico ou previsão, dependendo dos objetivos impostos à elaboração do sistema.

Esta técnica tem permitido a orientação de usuários na tomada de decisões imparciais e rápidas, uma vez que propicia a presença do especialista 24 horas à disposição do usuário.

Devido às vantagens de utilização desta técnica, desde a década de 80, muitos trabalhos vêm apresentando sua utilização associada a simuladores, principalmente onde modelos matemáticos formais tornam-se ineficientes na representação de heurísticas utilizadas pelos especialistas na resolução de problemas.

Assim sendo, embora as opções de manejo relativas a rápida redução populacional do bicudo sejam reduzidas a algumas alternativas de inseticidas seletivos disponíveis no mercado, a facilidade da rápida inclusão de novas regras (alternativas de controle) motivou associar esta técnica de IA aos modelos matemáticos triviais, visando a simulação da influência e avaliação dos atuais e futuros agentes de controle da praga e/ou produtos químicos.

Apresenta-se na Fig. 5.1, um esboço do funcionamento do sistema principal acoplado ao Sistema Especialista.

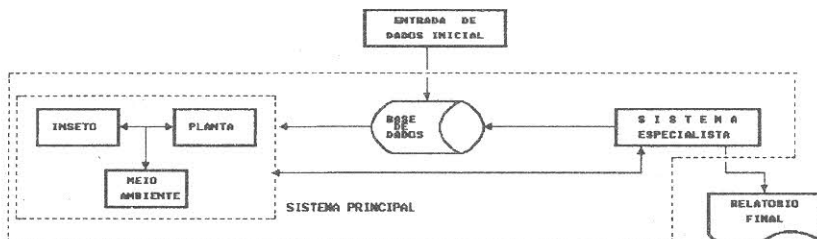


FIGURA 5.1: ESBOÇO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA.

O mecanismo de inferência do sistema, isto é, o meio utilizado pelo SE para a obtenção de fatos a serem verificados é determinístico, tendo sido utilizado o método de encadeamento reverso ou dirigido a objeto.

As solicitações efetuadas pelo SE são respondidas diretamente pelo sistema principal toda vez que o sistema especialista for acionado. As soluções fornecidas pelo SE são retro-alimentadas ao sistema principal que dará sequência às investigações.

6. CONCLUSÃO

A disponibilidade de informações quali-quantitativas a

respeito do bicudo do algodoeiro na região de Campinas/SP, bem como dados pertinentes às variedades IAC-17 e IAC-20 permitiram apresentar uma ferramenta auxiliar no monitoramento populacional da praga por computador.

Para tal, foram elaboradas equações representativas da disponibilidade semanal potencial de botões florais novos e sua respectiva taxa de nascimento diária, a partir do Método dos Mínimos Quadrados sobre dados de MARUR (1980).

Além disso, apresentaram-se os modelos matemáticos dinâmicos compartimentais do inseto e da planta, bem como variáveis aleatórias que representam as probabilidades diárias mensais de precipitações pluviométricas na região.

Um sistema especialista contendo orientações a respeito das medidas de controle químico a serem tomadas foi acoplado ao sistema principal com sucesso.

Por apresentar estrutura modular, este trabalho possibilitará sua futura utilização para outras regiões, onde outras variedades de algodoeiro, indicadores de danos econômicos, manejo e condições ambientais são verificadas, além da inserção de novos módulos relativos a outras pragas que atacam expressivamente esta cultura bem como dos seus respectivos inimigos naturais promissores ao controle biológico.

Este trabalho é parte integrante do simulador da dinâmica populacional do bicudo do algodoeiro em desenvolvimento no DENNIS-FEE/UNICAMP como tese de doutoramento.

Agradecimentos especiais a seção de Climatologia Agrícola do IAC-Campinas e a Celso Jamil Marur (IAPAR) pelas informações e dados fornecidos.

REFERÊNCIAS

- Gutierrez, G.S. (1986) -"Biologia de Anthonomus grandis Boheman, 1833 (Col. : Curculionidae) e seu controle com Beauveria bassiana (Bals.) Vuill.", Tese de Doutorado. ESALQ/USP, Piracicaba/SP, 198 107p.
- Habib, M.E., Fernandes, W.D., Favaro Jr., A., Andrade, C.F.S. (1984b)- "Eficiência do feromônio de agregação e inseticidas químicos no combate do bicudo, Anthonomus grandis Boheman", In : Revista da agricultura, 1984b. (59): 239-251p.
- Marur, C.J. (1980)- "Possibilidade da utilização de um esquema para a determinação dos estágios de desenvolvimento em plantas do algodoeiro.", Reunião Nacional do Algodão. I., Resumos, Londrina/PR, 1980.
- Pessoa, M.C.P.Y., Meyer, J.F.C.A., Fernandes, J.F.R. (1992)-"Modelagem matemática e simulação numérica aplicada ao manejo integrado do Bicudo do algodoeiro (Anthonomus grandis Boheman)", Congresso Brasileiro de Matemática Aplicada e Computacional, 15, Resumos, Rio de Janeiro:SBMACC.
- Pierozzi Jr., I. (1985)-"Ecologia aplicada de Anthonomus grandis Boh., 1843 (Coleoptera, Curculionidae) na região de Campinas, SP", Tese de Mestrado. Ecologia/IB-UNICAMP, Campinas/SP, 1985, 155p.
- Pierozzi Jr., I. (1989)- "Análise e aplicabilidade do complexo ecológico de Anthonomus grandis Boheman, 1843 (Coleoptera, Curculionidae), na região de Campinas, SP", Tese de Doutorado. Ecologia/IB-UNICAMP, Campinas/SP, 1989, 191p.
- Pierozzi Jr., I , Habib, M.E. (1992)- "Proposta e análise de

componentes básicos para um programa de MIP para algodão infestados por Anthonomus grandis Boheman, 1843 (Coleoptera, Curculionidae), na região de Campinas-SP", Revista de agricultura, Piracicaba, v.67, fasc.3, p. 253-269, dez. 1992.

-Silveira Neto, S. , Nakano, O. , Barbin, D. , Nova, N.A.V. (1976)- "Manual de ecologia dos insetos", _:Editora Ceres, 1976, 419p.