

CROP PROTECTION

Amostragem Sequencial de *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) em Algodoeiro¹

MARCOS G. FERNANDES², ANTONIO C. BUSOLI³ E JOSÉ C. BARBOSA⁴

¹Trabalho financiado pela FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

²Depto. Ciências Agrárias, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, C. postal 533, 79804-970, Dourados, MS
e-mail: mgfernan@ceud.ufms.br

³Depto. Fitossanidade, ⁴Depto. Ciências Exatas. UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, km 5, 14884-900
Jaboticabal, SP

Neotropical Entomology 32(1):117-122 (2003)

Sequential Sampling of *Alabama argillacea* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) on Cotton Crop

ABSTRACT - An appropriated management of the cotton leafworm on cotton crop demands a sampling plan that quantifies the population density of the pest in an accurate and fast form. The objective of this research was to determine the plan of sequential sampling of *Alabama argillacea* (Hübner) on cotton crop, CNPA ITA-90 cultivar. During the 1998/99 growing season a sampling system was applied in three experimental areas located at the Fazenda Itamarati Sul S/A in the region of Ponta Porã, state of Mato Grosso do Sul, Brazil. Each area measured 1 ha and was composed of 100 plots with 100 m². The number of small, medium and large larvae was counted on five plants per plot, in a weekly basis. After defined that all stages of cotton leafworm larvae were distributed according to the contagious model, fitting Negative Binomial Distribution during the whole period of infestation, a sequential sampling plan was provided, according to the Sequential Probability Ratio Test (SPRT). A threshold level of two larvae per plant was assumed to trigger the sampling plan. After the data were analyzed two decision lines were indicated: the superior one, which represents the condition that the adoption of some control method is recommended, and was defined as $S_1 = 4.8784 + 1.4227n$; and the inferior one, representing the situation where the adoption of some control method is not recommended, defined as $S_0 = -4.8784 + 1.4227n$. The sequential sampling plan indicated the expected maximum number of 16 samples to determine whether or not the pest control is necessary.

KEY WORDS: Insecta, *Gossypium hirsutum*, cotton leafworm, Negative Binomial Distribution

RESUMO - Para implantar o manejo apropriado do curuquerê-do-algodoeiro, é necessário construir um plano de amostragem que permita estimar, de forma rápida e precisa, a densidade populacional da praga. Esta pesquisa objetivou determinar o plano de amostragem sequencial de *Alabama argillacea* (Hübner) em algodoeiro, cultivar CNPA ITA-90. Os dados foram coletados no ano agrícola de 1998/99 na Fazenda Itamarati Sul S/A, localizada no município de Ponta Porã, MS, em três áreas de 10.000 m² cada. As áreas amostrais foram compostas de 100 parcelas de 100 m². O número de lagartas pequenas, médias e grandes foi determinado semanalmente em cinco plantas tomadas ao acaso por parcela. Após verificado que todos os instares das lagartas estavam distribuídos de acordo com o modelo de distribuição agregada, ajustando-se à Distribuição Binomial Negativa durante todo o período de infestação, construiu-se um plano de amostragem sequencial de acordo com o Teste Sequencial da Razão de Probabilidade (TSRP). Adotou-se o nível de controle de duas lagartas por planta para a construção do plano de amostragem. A análise dos dados indicou duas linhas de decisão: a superior, que representa a condição de que a adoção de um método de controle é recomendado, definida por $S_1 = 4,8784 + 1,4227n$; e a inferior representando que a adoção de algum método de controle não é necessário, definida por $S_0 = -4,8784 + 1,4227n$. A amostragem sequencial estimou o número máximo esperado de 16 unidades amostrais para se definir a necessidade ou não do controle.

PALAVRAS-CHAVE: Insecta, *Gossypium hirsutum*, curuquerê-do-algodoeiro, Distribuição Binomial Negativa

Lagartas de *Alabama argillacea* (Hübner) são importantes pragas desfolhadoras da cultura algodoeira na região central do Brasil, embora ocorram em todas as regiões produtoras do país (Almeida & Silva 1999). Podem reduzir em até 67% a produtividade da cultura (Ramalho 1994). Segundo Fernandes (2002), o período de ocorrência dessa espécie na região de Dourados, MS, é entre os 30 dias após a emergência das plantas e o final do ciclo da cultura, aos 136 dias. Como o Manejo Integrado de Pragas (MIP) envolve o manejo da população dos artrópodes que se inter-relacionam no agroecossistema, a amostragem rápida e eficiente das pragas e seus inimigos naturais é fundamental.

Na maioria dos sistemas de produção do algodoeiro são realizadas amostragens constantes para determinar a presença de pragas e/ou danos na planta, embora, o número de plantas amostradas por área e a frequência da amostragem variem amplamente. Segundo Luttrell *et al.* (1994), no sistema australiano é recomendada a amostragem de 60 plantas a cada 100 ha, de duas a três vezes por semana; já nos EUA são amostrados, uma a duas vezes por semana, 100 ponteiros e estruturas reprodutivas em cada 20 ha a 40 ha, enquanto no Brasil as recomendações de amostragem são feitas com base no histórico da ocorrência de pragas na região. Busoli (1991) recomenda que, em campos de MIP do Centro de Manejo Integrado de Pragas (CEMIP) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP-Jaboticabal), as amostragens na cultura do algodão sejam realizadas uma vez por semana.

A amostragem seqüencial tem se mostrado mais rápida e confiável que a amostragem convencional e, de acordo com Kogan & Herzog (1980), caracteriza-se por utilizar número variável de unidades amostrais, dependendo do tamanho da população amostrada, ao contrário da amostragem convencional que utiliza número fixo de unidades amostrais. Na amostragem seqüencial, a avaliação pode classificar rapidamente a população do organismo tratado em grandes categorias como baixa, média ou alta, ou ainda indicar se é necessário adotar alguma medida de controle ou não. Assim, o momento de terminar a amostragem e tomar uma decisão depende, em cada etapa, dos resultados obtidos a cada momento (Wald 1945).

De acordo com Ruesink & Kogan (1975), três requisitos básicos são necessários para o desenvolvimento de planos de amostragem seqüencial de insetos pelo método de razão de probabilidade: 1^ª) a obtenção de uma função de probabilidades que descreva a distribuição espacial dos insetos; 2^ª) o nível de dano na forma de duas densidades críticas, tais que o dano econômico ocorrerá se a população ultrapassar o limite superior previamente estabelecido, e não ocorrerá dano econômico caso a população permaneça abaixo do limite inferior estabelecido; 3^ª) seleção de níveis máximos de probabilidade de cometer erros na decisão sobre densidades populacionais, ou seja, a probabilidade de prever uma densidade populacional não prejudicial como sendo prejudicial, chamada de erro do tipo I, e a probabilidade de prever uma densidade prejudicial como sendo não prejudicial, chamada de erro do tipo II.

Com relação ao primeiro requisito, a distribuição espacial dos organismos na lavoura pode ser considerada como agregada, uniforme ou aleatória, que são denominadas,

estatisticamente, Binomial Negativa, Binomial Positiva e Poisson, respectivamente. Para cada tipo de distribuição, há variação no método a ser utilizado para estabelecimento do plano de amostragem, em função dos diferentes parâmetros envolvidos. Quanto ao nível de limiar econômico na forma de duas densidades críticas, pode-se afirmar que esse tem sido um dos entraves para o desenvolvimento de planos seqüenciais no Brasil. O estabelecimento desses níveis populacionais, normalmente, requer estudos de longa duração, envolvendo observações de ciclo da cultura, fisiologia da planta, prejuízos da praga, custo de controle e valor da produção, sendo esses estudos escassos no Brasil. No entanto, segundo Barbosa (1992), é preferível que, em vez de esperar até que sejam obtidos todos os dados definitivos necessários para se iniciar um programa de manejo de pragas, empregue-se a melhor informação existente e os conhecimentos de nível prático adquiridos para se delinear um manejo experimental de pragas. A mesma situação, também, deve ser observada em relação às probabilidades de erro tipo I e erro tipo II.

Portanto, planos de amostragem seqüencial são instrumentos valiosos do MIP quando já se dispõe de conhecimentos básicos sobre as populações das pragas. Por esse motivo, poucos programas de amostragem seqüencial de pragas do algodoeiro foram desenvolvidos no Brasil. Sterling *et al.* (1983), por exemplo, desenvolveram um programa de amostragem seqüencial para algumas pragas do algodoeiro no Nordeste do Brasil, conseguindo assim, reduzir o tempo da amostragem no campo em 50% do que se gastava tradicionalmente.

A pesquisa proposta objetivou estabelecer um plano de amostragem seqüencial para *A. argillacea* em algodoeiro de acordo com o Teste Seqüencial da Razão de Probabilidade.

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos durante a safra 1998/1999 no município de Ponta Porã, no Estado de Mato Grosso do Sul, em uma área de 116 ha semeada com algodão da cultivar CNPA ITA-90 e irrigada com pivô central. Foram demarcados três campos de 10.000 m² cada um, sendo cada campo dividido em 100 parcelas de 100 m² (10 m x 10 m). Em cada parcela foi examinada uma seqüência de cinco plantas, na linha central da parcela, perfazendo 500 plantas em cada campo. Amostrou-se a planta inteira, anotando-se o número de lagartas de *A. argillacea* presentes em cada planta. As lagartas foram classificadas em pequenas (até 1,5 cm), médias (entre 1,5 e 2,5 cm) e grandes (acima de 2,5 cm). Foram realizadas 14 amostragens semanais durante toda a época de ocorrência da praga, abrangendo praticamente todo o ciclo da cultura. O controle químico de *A. argillacea* era realizado quando sua população ultrapassava três lagartas por planta, ou seja, superava o nível de controle normalmente adotado, que é de duas lagartas por planta.

O número de lagartas pequenas, médias e grandes foi utilizado para a descrição matemática da dispersão espacial da população, que apresentaram ajuste à Distribuição Binomial Negativa. O plano de amostragem seqüencial construído para a espécie estudada, baseia-se no Teste Seqüencial da Razão

de Probabilidade (TSRP), de acordo com a metodologia desenvolvida por Wald (1947). A finalidade do plano é testar, com o menor número possível de unidades amostrais, as hipóteses H_0 e H_1 . A hipótese H_0 indica que a população está abaixo do nível de segurança e, portanto, aceitá-la significa que não há a necessidade de controle da praga, enquanto a hipótese H_1 indica que a população está acima do nível de controle, sendo que sua aceitação demonstra que é necessária a aplicação de métodos de controle.

Foram, então, construídas as linhas de decisão necessárias para a realização do teste TSRP. A linha de decisão superior indica o número de organismos necessários para atingir o nível de controle proposto; por outro lado, a linha de decisão inferior indica o total de organismos a partir do qual pode-se afirmar que essa população está no nível de segurança ou abaixo dele, conseqüentemente, não sendo necessário adotar nenhuma medida de controle.

A linha de decisão superior do teste é definida como: $S_1 = h_1 + S \times n$. Já a linha de decisão inferior é definida pelo teste TSRP como: $S_0 = h_0 + S \times n$, sendo que, em ambas as equações, n indica o número da unidade amostral a ser utilizada na amostragem, e os valores h_0 , h_1 e S são definidos em função da Binomial Negativa através de:

$$h_0 = \frac{b}{\ln \left[\frac{\mu_1(\mu_0 + k)}{\mu_0(\mu_1 + k)} \right]}$$

$$h_1 = \frac{a}{\ln \left[\frac{\mu_1(\mu_0 + k)}{\mu_0(\mu_1 + k)} \right]}$$

$$S = k \frac{\ln \left[\frac{\mu_1 + k}{\mu_0 + k} \right]}{\ln \left[\frac{\mu_1(\mu_0 + k)}{\mu_0(\mu_1 + k)} \right]}$$

onde: $a = \ln \left(\frac{1 - \beta}{\alpha} \right)$; $b = \ln \left(\frac{\beta}{1 - \alpha} \right)$; μ_0 = nível de segurança;

μ_1 = nível de dano econômico; α = erro tipo I; β = erro tipo II; k = índice Kc (k comum) calculado pelo método proposto por Bliss & Owen (1958), ou seja:

$$\frac{1}{Kc} = \frac{\sum_i w_i x_i' y_i'}{\sum_i w_i x_i'^2}$$

onde: $x_i' = \bar{X}_i - \frac{s_i^2}{n_i}$; $y_i' = s_i^2 - \bar{X}_i$; n_i = tamanho da amostra; s_i^2 = variância amostral; \bar{X}_i = média estimada;

$$w_i = \frac{0.5(n_i - 1)\hat{k}_c^4}{\bar{X}_i^2(\bar{X}_i + \hat{k}_c)^2 \left(\hat{k}_c(\hat{k}_c + 1) - \frac{(2\hat{k}_c - 1)}{n_i} - \frac{3}{n_i^2} \right)}$$

Como a variável w_i envolve o parâmetro desconhecido Kc, o processo de estimação dessa variável deve ser iterativo

e uma estimativa inicial do k_c deve ser obtida através de:

$$\frac{1}{\hat{k}_c} = \frac{\sum_i x_i' y_i'}{\sum_i x_i'^2}$$

Assim, de acordo com o modelo de distribuição espacial do organismo estudado, para determinar as linhas de decisão, na primeira observação realizada utiliza-se n igual a 1 e determina-se o valor do limite superior e inferior para a unidade amostral de número 1; na segunda observação utiliza-se n igual a 2, determinando, então os valores dos limites superior e inferior para a unidade amostral número 2, e assim sucessivamente, até a última unidade amostral necessária do plano de amostragem.

A avaliação do teste TSRP de Wald é baseado na Curva Característica de Operação CO(p) e na Curva do Tamanho Esperado de Unidades Amostrais $E_p(n)$. Portanto, após a definição do Plano de Amostragem Sequencial, é importante que se determine a Curva Característica de Operação CO(p), que é a representação gráfica da função operatória característica, e visa fornecer a probabilidade de terminar a amostragem e não aconselhar o controle para um determinado grau de infestação da lavoura. Assim, essa curva indica a probabilidade de se adotar uma decisão correta ou errada para qualquer nível de infestação. A Curva do Tamanho Esperado de Unidades Amostrais $E_p(n)$ representa o número médio de observações necessárias para se tomar a decisão de realizar ou não o controle. As funções utilizadas para a determinação de ambas as curvas, em qualquer tipo de distribuição espacial, são apresentadas por Young & Young (1998):

$$CO(p) = \frac{(1 - \beta)^h - 1}{\alpha} \frac{\alpha}{(1 - \beta) - (\beta)^h} \frac{1 - \alpha}{\alpha}$$

$$E_p(n) = \frac{CO(p)(h_0 - h_1) + h_1}{p - S}$$

onde: p = número médio de lagartas por planta; h = variável auxiliar dependente de p .

Resultados e Discussão

Para a construção do plano de amostragem sequencial de lagartas *A. argillacea*, estabeleceu-se que a Distribuição Binomial Negativa é o modelo probabilístico que descreve a distribuição espacial dessa espécie no campo, pois, de acordo com Fernandes (2002), lagartas pequenas, médias e grandes apresentam distribuição agregada na cultura do algodoeiro. Foi adotado o nível de controle (μ_1) de duas lagartas por planta (Busoli & Athayde 1992, Degrande 1998). O nível de segurança (μ_0) foi adotado como sendo de uma lagarta por planta. O K comum (Kc) foi determinado como 2,6397. Os valores utilizados para os erros tipo I e II foram $\alpha = \beta = 0,10$, já que esse valor é apropriado para trabalhos com insetos (Young & Young 1998). Assim, o limite de decisão superior a partir do qual aceita-se H_1 : $\mu_1 = 2$ é: $S_1 = 4,8784 + 1,4227n$. Já o limite de decisão inferior para aceitação de H_0 : $\mu_0 = 1$ é: $S_0 = -4,8784 + 1,4227n$.

A partir dos dados fornecidos pelas equações das retas superior e inferior (Fig. 1), preparou-se o plano de amostragem seqüencial da praga visando sua utilização em um programa de manejo integrado. A partir dessa figura foi preparada uma tabela de amostragem (Fig. 2), pois essa é mais prática em trabalhos de campo, sendo sua utilização feita da seguinte maneira: após a realização da primeira contagem, essa é anotada no campo da primeira unidade amostral; a segunda observação é feita, somada à observação anterior e anotada no campo da segunda unidade amostral, e assim sucessivamente. Esse procedimento é repetido até que a regra para finalizar a amostragem seja satisfeita, ou seja: a) parar a amostragem se o total de organismos contados for igual ou exceder ao limite superior e, nesse caso, recomendar o manejo apropriado da praga; ou, b) parar a amostragem se o total de organismos contados for igual ou menor que o limite inferior e, nesse caso, não recomendar o controle.

A Curva Característica de Operação CO(p) (Fig. 3) representa que, quando a média da população de *A.*

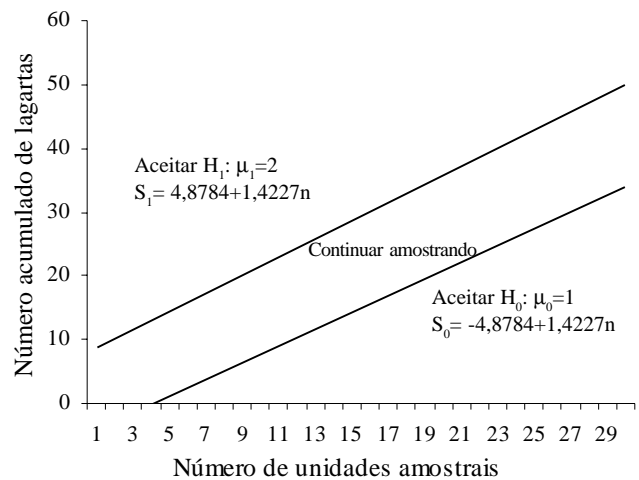


Figura 1. Linhas de decisão do plano de amostragem seqüencial para número de lagartas de *A. argillacea* com base na Distribuição Binomial Negativa.

PLANO DE AMOSTRAGEM SEQÜENCIAL DE <i>A. argillacea</i> EM ALGODOEIRO			
Número da unidade amostral	Limite inferior	Total amostrado	Limite superior
1	ND	_____	7
2	ND	_____	8
3	ND	_____	10
4	0	_____	11
5	2	_____	12
6	3	_____	14
7	5	_____	15
8	6	_____	17
9	7	_____	18
10	9	_____	20
11	10	_____	21
12	12	_____	22
13	13	_____	24
14	15	_____	25
15	16	_____	27
16	17	_____	28
17	19	_____	30
18	20	_____	31
19	22	_____	32
20	23	_____	34
21	24	_____	35
22	26	_____	37
23	27	_____	38
24	29	_____	40
25	30	_____	41
26	32	_____	42
27	33	_____	44
28	34	_____	45
29	36	_____	47
30	37	_____	48

ND - Não definido

Figura 2. Plano de amostragem seqüencial para avaliar a infestação de *A. argillacea* na cultura do algodoeiro.

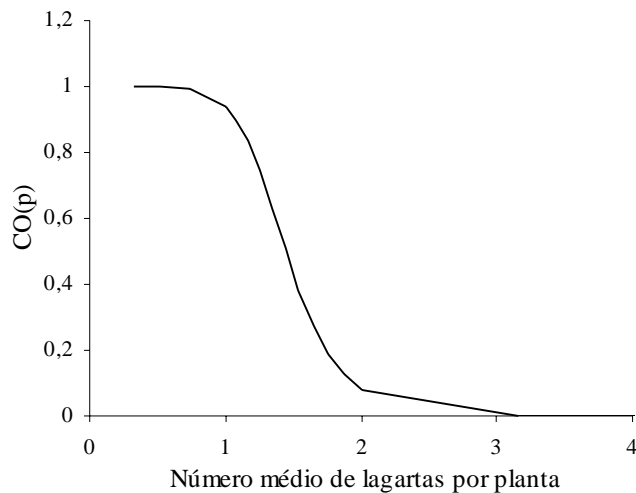


Figura 3. Curva característica de operação $CO(p)$ do Teste Seqüencial da Razão de Probabilidade para população total de *A. argillacea*.

argillacea é de uma lagarta por planta, o teste indica não recomendar o controle com apenas 1% de probabilidade de recomendar o controle quando esse não for necessário, portanto, incorrendo no erro Tipo I. Quando a média é de duas lagartas por planta, o teste tem somente 0,09% de probabilidade de aceitar H_0 e não recomendar o controle. Acima dessa infestação a probabilidade de incorrer no erro Tipo I e não recomendar o controle quando esse for necessário é de, praticamente, 0%.

Os resultados obtidos para o Número Esperado de Unidades Amostras $E_p(n)$ do Teste Seqüencial da Razão de Probabilidade de Wald para a população total de lagartas (Fig. 4), indica que para uma infestação de 1,34 lagarta por planta ocorrerá o número máximo de 16 unidades amostrais necessárias em uma amostragem. Para uma infestação de duas lagartas por planta, serão utilizadas aproximadamente 10 unidades amostrais, e acima de três lagartas por planta, em média, serão utilizadas aproximadamente cinco unidades amostrais para se tomar uma decisão.

Como lagartas pequenas, médias e grandes de *A. argillacea* apresentam distribuição agregada na cultura do algodoeiro (Fernandes 2002), o plano de amostragem seqüencial proposto pode ser utilizado para qualquer tamanho de lagarta ou para a população total, independente do tamanho dos indivíduos. Obviamente, o plano deve ser indicado de acordo com as recomendações preconizadas pelo MIP, ou seja, amostrar, preferencialmente, a população total de lagartas quando a maioria destas forem pequenas e médias, pois são mais suscetíveis ao controle químico. Da mesma forma, a utilização do plano deve se dar em talhões uniformes na lavoura no que se refere à época de semeadura, cultivar, topografia, tratamentos culturais, proximidades de possíveis focos de infestação, entre outros, sendo que a área de cada talhão não deve exceder a 100 ha, mesmo em áreas muito uniformes. Em talhões com essa área, os programas de amostragem convencional comumente adotados recomendam a amostragem de, pelo menos, 100 plantas para avaliação da infestação de *A.*

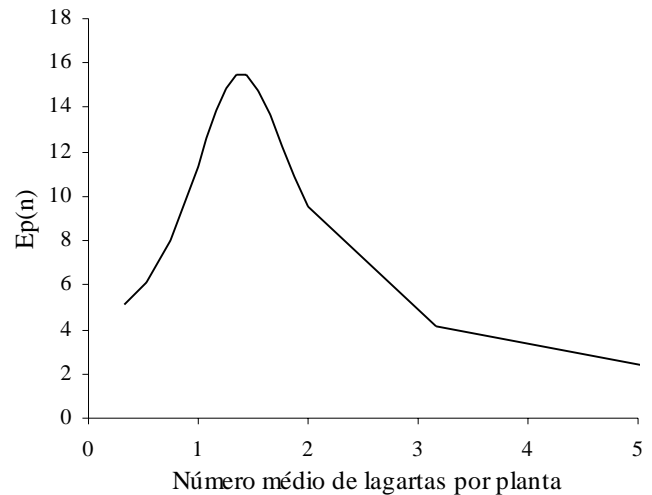


Figura 4. Curva do tamanho esperado de unidades amostrais $E_p(n)$ do Teste Seqüencial da Razão de Probabilidade para população total de *A. argillacea*.

argillacea. Assim, em relação à amostragem convencional, o plano de amostragem seqüencial proposto nesse trabalho resultou em grande redução do número de unidades amostrais necessárias para a decisão de se efetuar alguma medida de controle da praga.

Literatura Citada

- Almeida, R.P. & C.A.D. Silva. 1999.** Manejo integrado de pragas do algodoeiro, p.753-820. In N.E.M. Beltrão (ed.), O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília, Embrapa/Algodão, 1023p.
- Barbosa, J.C. 1992.** A amostragem seqüencial, p. 205-211. In O.A. Fernandes, A.C.B. Correia & S.A. De Bortoli (eds.), Manejo integrado de pragas e nematóides. Jaboticabal, FUNEP, 253p.
- Bliss, C.I., A.R.G. Owen. 1958.** Negative binomial distribution with a common K. Biometrika, 45: 37-58.
- Busoli, A.C. 1991.** Práticas culturais, reguladores de crescimento, controle químico e feromônios no Manejo integrado de pragas do algodoeiro, p. 29-52. In P.E. Degrande (ed.), Bicudo do algodoeiro: Manejo integrado. Dourados, UFMS/EMBRAPA-UEPAE Dourados, 104p.
- Busoli, A.C. & M.L.F. Athayde. 1992.** Agroecossistema algodoeiro, práticas culturais, reguladores de crescimento e feromônios no MIP-Algodão, p.1-21. In O.A. Fernandes, A.C.B. Correia & S.A. De Bortoli. (eds.), Manejo integrado de pragas e nematóides. Jaboticabal, FUNEP, 253p.
- Degrande, P.E. 1998.** Manejo integrado de pragas do algodoeiro, p. 154-191. In EMBRAPA. Centro de Pesquisas Agropecuária do Oeste (Dourados, MS). Algodão: informações técnicas. Dourados: EMBRAPA-

CPAO; Campina Grande: EMBRAPA-CNPA (EMBRAPA-CPAO. Circular Técnica, 7), 267p.

Fernandes, M.G. 2002. Distribuição espacial e amostragem seqüencial dos principais noctuídeos do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). Tese de doutorado, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 140p.

Kogan, M. & D.C. Herzog. 1980. Sampling methods in soybean entomology. New York, Springer-Verlag, 587p.

Luttrell, R.G., G.P. Fitt, F.S. Ramalho & E.S. Sugonyaev. 1994. Cotton pest management: Part 1. A worldwide perspective. *Annu. Rev. Entomol.* 39: 517-26.

Ramalho, F.S. 1994. Cotton pest management: Part 4. A Brazilian perspective. *Annu. Rev. Entomol.* 39: 563-78.

Ruesink, W.G. & M. Kogan. 1975. The quantitative basis of

pest management and measuring, p. 309-351. In R.L. Metcalf & W.H. Luckmann (eds.), *Introduction to insect pest management*. New York, John Wiley & Sons Inc, 548p.

Sterling, W.L., E. Bleicher & F.M.M. Jesus. 1983. Um programa de manejo integrado para insetos do algodoeiro no Nordeste do Brasil usando amostragem seqüencial. *An. Soc. Entomol. Brasil* 12: 85-98.

Wald, A. 1945. Sequential test of statistical hypothesis. *Ann. Math. Stat.* 16: 117-86.

Wald, A. 1947. *Sequential analysis*. J. Wiley & Sons, Inc. N. York, 212p.

Young, L.J. & J.H. Young. 1998. *Statistical ecology: a population perspective*. Boston, Kluwer Academic Publishers, 565p.

Received 15/04/02. Accepted 10/11/02.
