

AMOSTRAGEM SEQUENCIAL BASEADA NO TESTE SEQUENCIAL DA RAZÃO DE PROBABILIDADES E SEU USO NA DETERMINAÇÃO DA ÉPOCA DE CONTROLE DAS LAGARTAS DA SOJA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Sequential Sampling Based on the Sequential Probability Ratio Test (SPRT) and its Use in the Determination of the Epoch of Control of the Soybean Caterpillars in the State of Rio Grande do Sul

Valduino Estefanel* e Décio Barbin**

RESUMO

Foi desenvolvido um plano de amostragem sequencial para classificar a infestação de lavouras de soja pelas lagartas *Anticarsia gemmatalis* e *Plusia* spp em baixa, moderada ou alta.

Para conhecer a distribuição espacial da praga obtiveram-se dados de contagem de lagartas em 3 municípios do Estado do Rio Grande do Sul. Em cada local foram examinadas 50 unidades amostrais recolhidas ao acaso, caminhando-se em zigue-zague numa área de aproximadamente 1 ha. Cada unidade amostral constou de 1,00 m de linha, sendo as linhas espaçadas de 0,60 m. Verificou-se que os dados obtidos se ajustavam à distribuição binomial negativa.

A curva Característica de Operação e a Curva do Tamanho Médio das Amostras bem como as fórmulas para obtê-las e para obter as linhas de decisão para as distribuições Binomial, Normal, Poisson e Binomial Negativa constam do trabalho.

SUMMARY

A sequential sampling plan to classify in light, moderate or severe the infestation of *Anticarsia gemmatalis* and *Plusia* spp caterpillars on soybean fields was carried out.

To know the spacial distribution of the pests, samples were drawn in three municipalities of the State of Rio Grande do Sul. In each site 50 sample units were chosen casually by groundcloth-shake method, in an about one hectare field. Each random sample unit was represented by a portion of 1,00 m of a row. Rows were spaced 0,60 m apart. It was verified that caterpillar counts fit the negative binomial distribution.

* Professor Assistente do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

** Professor Assistente Doutor do Departamento de Matemática e Estatística da Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiróz", São Paulo, Brasil.

The plan is based on Wald's Sequential Probability Ratio Test (SPRT). The operating Characteristic (OC) curve and the Average Sample Number (ASN) curve are drawn.

INTRODUÇÃO

A amostragem seqüencial caracteriza-se por envolver amostras de tamanho variável, em contraposição com a amostragem convencional que tem um número fixo de itens. Outra diferença é que enquanto a amostragem convencional procura estimar os parâmetros populacionais para depois, eventualmente, testar uma hipótese a respeito dos mesmos, na amostragem seqüencial é testada uma hipótese a respeito dos seus parâmetros sem a preocupação em estimá-los.

Assim, por exemplo, pode-se verificar a hipótese de que o parâmetro θ de uma população é maior que o valor θ' sem procurar estimar θ . Por isso a amostragem seqüencial é também conhecida como teste seqüencial ou análise seqüencial.

Na amostragem seqüencial as unidades amostrais são examinadas em seqüência até que os resultados acumulados tornem uma ou mais classes distintas de limites previamente determinados. Assim, com base na primeira observação pode-se chegar a uma das três seguintes decisões: (a) aceitar a hipótese H formulada; (b) rejeitar a hipótese H e (c) continuar a amostragem. Se for tomada a decisão (c) outra unidade amostral é examinada, e, com base nos resultados acumulados dos dois itens da amostra, as três possíveis decisões são examinadas novamente. O processo é continuado até que a decisão (a) ou a decisão (b) seja tomada.

Quando o valor θ' foi bastante maior ou bastante menor do que o parâmetro populacional θ a amostragem seqüencial permite chegar a uma decisão com menor número de unidades amostrais do que a amostragem comum. Ao contrário, quando θ' está próximo de θ a amostragem seqüencial exige maior número de unidades amostrais do que seriam examinadas com a amostragem convencional. Isso se constitui na maior vantagem do processo seqüencial, pois ele exige uma amostragem mais intensa quando isso é necessário e uma menor intensidade de amostragem quando as condições permitirem.

Outrossim, a amostragem seqüencial não pode ser aplicada em todos os casos. Se houver interesse em estimar os parâmetros populacionais este método não pode ser usado. Além disso, a amostragem seqüencial exige, para que possa ser aplicada vantajosamente, que a população não esteja dispersa e que as unidades amostrais colhidas possam ser prontamente avaliadas (8).

No campo agrônomico a amostragem seqüencial tem sido muito aplicada para avaliar a infestação de insetos nas culturas e decidir so

bre aplicação ou não de inseticidas. Nesse caso a população está reunida na área delimitada pela cultura e a avaliação das unidades amostrais, ou seja, a contagem do número de insetos ou a verificação da existência ou não de danos, é feita imediatamente, sem necessidade de análises de laboratório ou outro processo moroso. Por outro lado, não se está interessado em conhecer o parâmetro da infestação, mas, somente se a infestação atinge determinado nível a partir do qual a aplicação do inseticida deve ser executada. As condições permitem, portanto, o uso da amostragem seqüencial.

O uso desnecessário de inseticidas onera o custo da produção, constituindo-se num desperdício de mão-de-obra e de material. Acrescente-se ainda que o princípio ativo é produto de importação e se constitui num fator de evasão de divisas. Os danos ecológicos não devem ser esquecidos: intoxicação de operários e animais, desequilíbrio biológico e poluição ambiental são efeitos que poderiam ser minimizados se houvesse mais racionalidade na aplicação de defensivos agrícolas, sendo os mesmos usados somente quando realmente necessários.

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) vem tendo a cada ano maior importância econômica, principalmente nos Estados Unidos. Hoje a soja se constitui num dos produtos de destaque na pauta das exportações, propiciando divisas e, com isso, ajudando a equilibrar a balança de pagamentos do país.

As lagartas da soja, *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) e *Plusia* spp são pragas que todos os anos causam danos em maior ou menor intensidade à cultura. Por outro lado, o uso de inseticidas para seu controle é feito quase sempre de maneira desordenada e muitas vezes sem necessidade. Mesmo para o técnico não é fácil decidir quando é necessário e quando não é necessário adotar medidas de controle químico na lavoura.

Um plano de amostragem seqüencial é um instrumento de fácil uso para técnicos e mesmo para agricultores mais esclarecidos, que facilita a tomada de decisões quanto a executar a aplicação de defensivos ou não.

Neste trabalho será apresentado um plano de amostragem seqüencial para classificar a infestação de lagartas da soja, em alta, média ou baixa, visando auxiliar na tomada de decisões quanto à necessidade ou não do uso de inseticidas.

REVISÃO DA LITERATURA

WALD (13), trabalhando para a Marinha dos Estados Unidos, iniciou a pesquisa o problema em 1940, visando o controle de qualidade de do material bélico. Em 1943 WALD apresentou seu primeiro relatório

rio que foi taxada de "secreto" pelas Forças Armadas Americanas, te merosas de que o inimigo se utilizasse dessa técnica. Em 1945, ter minada a guerra, o relatório foi liberado. A partir de então, mui tas indústrias passaram a usar o procedimento desenvolvido por Wald, para controlar a qualidade de seus produtos.

OAKLAND (8) utilizou a amostragem seqüencial pela primeira vez em problema biológico ao desenvolver um plano de amostragem para estimar o número de cistos existentes no peixe branco (*Coregonus clu* *peaformis*) a ser exportado para o Canadá.

O primeiro plano de amostragem seqüencial para o controle de insetos foi desenvolvido por STARK (9) para a broca (*Evagoria starki*) do broto do pinheiro, baseado na distribuição normal. MORRIS (6) desenvolveu plano de amostragem para a lagarta (*Choristoneura fumifer* *rana* (Clem.)) do broto do pinheiro, baseado na distribuição binomial negativa. Utilizando a distribuição binomial, IVES & PRENTICE (4) desenvolveram plano de controle do serrador (*Pristiphora eri* *chsonii*) do lariço. WATERS (14) forneceu algumas referências básicas para o desenvolvimento de planos seqüenciais para as distribuições normal, binomial, Poisson e binomial negativa.

MORRIS (7) comentou que planos de amostragem seqüencial tinham sido desenvolvidos para a maioria dos insetos desfolhadores de plantas florestais da América do Norte e se declarava surpreso que a técnica não tivesse sido rapidamente adotada em outras áreas de entomologia e em outros países. Atualmente o uso da amostragem seqüencial foi introduzido em diversos países e para diversas culturas anuais.

WADDILL et alii (12) elaboraram planos seqüenciais para controle de percevejos *Nabis* spp e *Geocoris* spp na cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Para elaborar um plano de amostragem seqüencial é necessário conhecer a distribuição da variável que está sendo levantada pela amostragem, formular as hipóteses e estabelecer os riscos de tomar decisões erradas.

1. *Distribuição teórica da variável estudada* - Em trabalhos para controlar a época da aplicação de medidas de controle de insetos as distribuições mais comuns são: binomial, normal, Poisson e binomial negativa.

Se a unidade amostral for classificada em danificada e não danificada, e considerando-se uma população de elevado número de unidades amostrais, caracteriza-se a distribuição binomial.

Se for contado o número de insetos existentes nas unidades amostrais e esses insetos estiverem distribuídos ao acaso na lavoura, os

dados de contagem provavelmente se ajustarão à distribuição normal. Se os insetos estiverem distribuídos ao acaso mas tenham baixa densidade populacional, sendo algo raros na unidade amostral, os dados de contagem tenderão a seguir a distribuição de Poisson. Entretanto, muitos insetos não estão distribuídos ao acaso na lavoura mas estão agrupados. Neste caso os dados de contagem aderirão à distribuição binomial negativa.

A determinação do tipo de distribuição requer um número relativamente grande de dados, embora, segundo KNIGHT (5), uma coincidência exata não seja necessária.

Para determinar a distribuição do número de lagartas coletadas foram feitos levantamentos em três locais do Estado do Rio Grande do Sul, distantes aproximadamente 50 km e em municípios vizinhos (Santa Maria, Faxinal do Soturno e Júlio de Castilhos) conforme está especificado na Tabela 1.

Tabela 1. Características das lavouras onde foram coletadas amostras de lagartas de soja no Estado do Rio Grande do Sul.

MUNICÍPIO	REGIÃO FI SIOGRÁFICA	DATA DE COLETA	DATA DE PLANTIO	VARIEDADE	ESTÁGIO DA CULTURA
Santa Maria (Campus da Universidade)	Depressão Central	01/02/77	Meado de dezembro	Diversas	Primeiras flores
Faxinal do Soturno (Sítio dos Mellos)	Depressão Central (Vale do Jacuí)	03/02/77	Princípio de dezembro	Prata	Últimas flores
Júlio de Castilhos (Val de Serra)	Planalto Médio	22/02/77 23/03/77	29 quinze na de dezembro	Bragg	Início da frutificação

Em todos os locais a soja tinha sido semeada em linhas distantes 0,60 m e com uma densidade aproximada de 20 plantas por metro de linha.

Em cada local foi escolhida uma área de aproximadamente 1 ha, e nessa área foram examinadas 50 unidades amostrais. Cada unidade

amostral constou de 1,00 m de linha, conforme preconizou TURNIPSEED (11).

A coleta das unidades amostrais foi feita ao acaso, caminhando-se em zigue-zague pela área demarcada, de modo semelhante ao usado para coletar amostras de solo.

Para colher as lagartas, inicialmente eram afastadas as plantas da linha contígua e estendida no chão uma lona branca de 1,20 x 0,60 m. As plantas da unidade amostral eram então curvadas em cima da lona e golpeadas violentamente para que as lagartas se desprendessem. Depois de verificar que nenhuma lagarta tinha caído fora da lona procedia-se a contagem. Na contagem eram incluídas lagartas maiores de 1 cm de comprimento e das espécies *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) e *Plusia* spp indistintamente.

A coleta era iniciada às 9:00 horas e completada aproximadamente às 19:00 horas do mesmo dia, com exceção de Júlio de Castilhos onde a chuva interrompeu o trabalho que foi completado no dia seguinte.

Para verificar a aderência dos dados coletados às distribuições de Poisson e binomial negativa utilizou-se o teste χ^2 . O parâmetro k da distribuição binomial negativa foi estimado pelo método da máxima verossimilhança apresentado por BLISS & FISCHER (1), adaptando-se programa de computador apresentado por DAVIES (3).

2. *Riscos tolerados de tomar decisões erradas* - Qualquer plano de amostragem pode levar a uma decisão errada, uma vez que não inspeciona toda a população. Mas, como a inspeção de toda a população é muitas vezes impossível ou muito dispendiosa, se é levado a tolerar riscos de tomar decisões erradas.

Ao decidir sobre a aplicação ou não de inseticidas numa lavoura, em primeiro lugar deve-se determinar o nível de infestação θ' tal que seja economicamente vantajoso aplicar o defensivo quando o grau de infestação da lavoura θ for maior que θ' e que não seja vantajoso aplicar o inseticida quando $\theta \leq \theta'$.

O parâmetro θ pode representar a proporção p de unidades amostrais danificadas existentes na lavoura, no caso da distribuição binomial, ou, no caso da contagem de insetos, a média populacional M de insetos existentes nas unidades amostrais.

O nível de infestação θ' depende do custo de aplicação do inseticida, do preço do produto colhido e do dano causado pela espécie de inseto em estudo em determinada fase da cultura.

Então o problema de aplicar ou não aplicar o inseticida pode ser formulado como o problema de testar a hipótese que $\theta \leq \theta'$ contra a hipótese alternativa que $\theta > \theta'$.

Se $\theta = \theta'$ o dano causado pela praga é igual ao custo de aplica

ção do inseticida e é indiferente qual a decisão a tomar. Se θ for um pouco superior que θ' o dano causado pela praga é levemente superior ao custo de aplicação do inseticida. Então desaconselhar sua aplicação não conduz a grave prejuízo econômico. Da mesma forma, se θ for um pouco inferior a θ' o dano causado pela praga é levemente inferior ao custo de aplicação do defensivo e preconizar sua utilização não leva a grande prejuízo econômico.

Logo, é possível escolher dois valores, θ_0 inferior a θ' e θ_1 superior a θ' , tais que, preconizar a aplicação do inseticida seja considerado erro de conseqüências graves se (e somente se) $\theta < \theta_0$, e desaconselhar a aplicação seja considerado erro de conseqüências graves se (e somente se) $\theta > \theta_1$. Se $\theta_0 < \theta < \theta_1$ nenhuma das decisões possíveis de serem tomadas conduzem a erro de conseqüências graves.

Escolhidos os valores θ_0 e θ_1 a probabilidade de aconselhar a aplicação do inseticida quando não é necessária é pré-fixada pelo valor α e a probabilidade de desaconselhar a aplicação quando necessária é dada pelo valor β também pré-fixado.

Assim os riscos tolerados de tomar decisões erradas são fixados pelos quatro valores: θ_0 , θ_1 , α e β . A escolha dessas quatro constantes não é um problema estatístico. Elas são escolhidas com base em considerações práticas para cada caso particular. Muitas vezes são necessários dados de pesquisa de campo de vários anos antes que se possa obter um plano de razoável qualidade.

Um plano de amostragem satisfazendo a essas condições é dado pelo "Teste Seqüencial da Razão de Probabilidades" para testar a hipótese $\theta = \theta_0$ contra a hipótese $\theta = \theta_1$.

Embora as pesquisas desenvolvidas por BOLDT et alii (2) e por THOMAS et alii (10) tenham sido executadas nos Estados Unidos, elas serviram de base, juntamente com as recomendações de TURNIPSEED (11), para determinar os valores M' , M_0 e M_1 , que correspondem a θ' , θ_0 e θ_1 , usados para delinear o plano de amostragem seqüencial.

Quando o número de lagartas por metro de linha for igual ou inferior a 20 considera-se uma infestação baixa. Quando esse número for igual ou superior a 53 considera-se uma infestação alta. Com um número de lagartas por metro de linha entre 21 e 52 caracteriza-se uma infestação moderada. M' foi então 20 a 53, respectivamente.

Para testar uma infestação baixa versus infestação moderada considerou-se $M_0 = 15$ e $M_1 = 25$ lagartas por metro de linha. E para testar a infestação moderada versus infestação alta foram considerados $M_0 = 45$ e $M_1 = 60$.

Então, para classificar a infestação de lagartas em baixa ou moderada delineou-se o teste seqüencial para testar as hipóteses $H_0: M = 15$ versus $H_1: M = 25$ e para classificar a infestação em moderada ou alta o teste foi delinearado para testar as hipóteses $H_0: M =$

45 versus H_1 : $M = 60$.

Utilizou-se $\alpha = \beta = 0,05$ que é o nível de erro mais usado em pesquisas agrônômicas.

Organização do plano de amostragem - Para organizar um plano de amostragem seqüencial deve-se estimar os parâmetros de duas retas, chamadas linhas de decisão, cujos modelos matemáticos são:

$$\begin{aligned} R_0 &= h_0 + S m \\ R_1 &= h_1 + S m, \end{aligned}$$

onde: S é o coeficiente angular, h_0 e h_1 são os coeficientes lineares e m é o tamanho da amostra no estágio considerado. Os coeficientes lineares e angular são calculados pelas seguintes fórmulas:

a) Distribuição binomial

$$h_0 = \frac{L \frac{\beta}{1-\alpha}}{L \frac{p_1 q_0}{p_0 q_1}} \quad (1) \quad h_1 = \frac{L \frac{1-\beta}{\alpha}}{L \frac{p_1 q_0}{p_0 q_1}} \quad (2) \quad S = \frac{L \frac{q_0}{q_1}}{L \frac{p_1 q_0}{p_0 q_1}} \quad (3)$$

b) Distribuição normal

$$h = \frac{\sigma^2}{M_1 - M_0} L \frac{\beta}{1-\alpha} \quad (4) \quad h_1 = \frac{\sigma^2}{M_1 - M_0} L \frac{1-\beta}{\alpha} \quad (5) \quad S = \frac{M_0 + M_1}{2} \quad (6)$$

c) Distribuição de Poisson

$$h_0 = \frac{L \frac{\beta}{1-\alpha}}{LM_1 - LM_0} \quad (7) \quad h_1 = \frac{L \frac{1-\beta}{\alpha}}{LM_1 - LM_0} \quad (8) \quad S = \frac{M_1 - M_0}{LM_1 - LM_0} \quad (9)$$

d) Distribuição binomial negativa

$$h_0 = \frac{L \frac{\beta}{1-\alpha}}{L \frac{p_1 q_0}{p_0 q_1}} \quad (10) \quad h_1 = \frac{L \frac{1-\beta}{\alpha}}{L \frac{p_1 q_0}{p_0 q_1}} \quad (11) \quad S = k \frac{L \frac{q_1}{q_0}}{L \frac{p_1 q_0}{p_0 q_1}} \quad (12)$$

Nessas expressões L indica o logaritmo neperiano, α e β são as probabilidades de erro já definidas anteriormente, k é o parâmetro da distribuição binomial negativa, σ^2 é a variância, p_0 e M_0 correspondem a θ_0 , e p_1 e M_1 correspondem a θ_1 . Sabendo-se que para a distribuição binomial negativa $p = Mk$, antes de usar as fórmulas correspondentes deve-se transformar M em p .

As linhas de decisão são traçadas num gráfico colocando no eixo das abcissas a escala do tamanho m da amostra e no eixo das ordenadas $\sum_{i=1}^m y_i$, que indica o número de unidades amostrais danificadas em

tre as m unidades observadas no caso da distribuição binominal ou o número acumulado de insetos nas m unidades amostrais examinadas no caso de contagem de insetos.

Ao executar a amostragem os pontos $(m; \sum_{i=1}^m y_i)$ são representados no gráfico para cada unidade amostral examinada. Se esse ponto estiver em R_0 ou abaixo a amostragem é terminada concluindo pela não adoção de medidas de controle. Se estiver em R_1 ou acima a amostragem é terminada concluindo pela adoção de medidas de controle. Enquanto $(m; \sum_{i=1}^m y_i)$ estiver entre R_0 e R_1 novas unidades amostrais são examinadas.

A amostragem pode também ser feita em forma de tabela, o que é mais prático em trabalhos de campo onde as condições não são muito confortáveis. Para isso calculam-se os valores a_m e r_m , para cada valor de m , a partir das equações de R_0 e R_1 . O maior inteiro inferior ao valor obtido na equação de R_0 será a_m , enquanto r_m será o menor inteiro maior que o valor calculado com a equação R_1 .

Ao executar a amostragem, para cada unidade amostral examinada, calcula-se $\sum_{i=1}^m y_i$, o qual é comparado com os valores correspondentes de a_m e r_m . Se $\sum_{i=1}^m y_i$ for igual ou menor que a_m a amostragem é terminada, concluindo que a infestação da praga não atingiu o nível crítico que justifique a aplicação de defensivos. Se $\sum_{i=1}^m y_i$ for igual ou maior que r_m a amostragem é terminada, concluindo pela necessidade de aplicação de defensivos. Enquanto $\sum_{i=1}^m y_i$ estiver entre a_m e r_m novas unidades amostrais são examinadas.

As curvas Características de Operação e do Tamanho Médio das Amostras - Essas curvas não são essenciais ao plano de amostragem seqüencial, mas seu estudo permite avaliar o desempenho do mesmo.

A curva Característica de Operação é a representação gráfica da Função Operatória Característica que fornece a probabilidade de terminar a amostragem não aconselhando o uso de defensivos para qualquer grau de infestação da lavoura. Em outras palavras, fornece a probabilidade de tomar uma decisão correta ou errada para qualquer nível de infestação da lavoura.

A curva Característica de Operação é obtida atribuindo valores arbitrários a W na expressão (13) e numa das expressões (14), (15), (16), ou (17) obtendo-se os valores θ e $P(\theta)$. Um número suficientemente grande de pontos $\{\theta; P(\theta)\}$ dispostos num gráfico permitem traçar a curva Característica de Operação.

Fórmulas para obter a curva Característica de Operação

$$P(\theta) = \frac{\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)^w \cdot 1}{\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)^w \cdot \left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right)^w} \quad (13)$$

Distribuição binomial :

$$P \doteq \frac{1 - \left(\frac{q_1}{q_0}\right)^w}{\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^w - \left(\frac{q_1}{q_0}\right)^w} \quad (14)$$

Distribuição normal:

$$M = \frac{M_0 + M_1 - W(M_1 - M_0)}{2} \quad (15)$$

Distribuição de Poisson:

$$M = \frac{W(M_1 - M_0)}{M_1^w M_0^{-w} - 1} \quad (16)$$

Distribuição binomial negativa:

$$M = k \frac{1 - \left(\frac{q_0}{q_1}\right)^w}{\left(\frac{p_1 q_0}{p_0 q_1}\right)^w - 1} \quad (17)$$

Nestas expressões α e β são as probabilidades de erro; p_0 e M_0 correspondem a θ_0 ; p_1 e M_1 correspondem a θ_1 ; $P(\theta)$ corresponde a $P(p)$ para a distribuição binomial e a $P(M)$ para as outras distribuições; p e M correspondem a θ .

O número de observações exigido pela amostragem seqüencial não é pré-fixado, mas é uma variável aleatória, porque em cada estágio da amostragem a decisão de suspender o processo depende do resultado acumulado das observações anteriores.

O tamanho da amostra é uma função de θ e é maior quando θ' está próximo de θ , diminuindo à medida que θ' se afasta de θ .

Sendo o número de observações necessárias para tomar uma decisão uma variável aleatória, pode-se calcular a esperança matemática desse número que indica o tamanho da amostra necessário, em média, para tomar uma decisão executando o teste diversas vezes numa mesma população quando θ é o parâmetro verdadeiro.

Calculando a esperança matemática do tamanho das amostras para

diversos valores de θ , pode-se distribuí-los num gráfico, traçando a curva do Tamanho médio das Amostras.

O cálculo dessa esperança matemática é feito pela expressão:

$$E_{\theta}(n) = \frac{P(\theta)(h_0 - h_1) + h_1}{\theta - S} \quad (18)$$

onde θ corresponde a p na distribuição binomial e a M nas outras distribuições sendo calculado pelas expressões (14), (15), (16) ou (17); $P(\theta)$ corresponde a $P(p)$ ou $P(M)$ e é calculado pela expressão (13); h_0 , h_1 e S são os parâmetros das linhas de decisão e são calculados pelas expressões (1) a (12).

Diversos pontos $\{\theta; E_{\theta}(n)\}$ colocados num gráfico permitem traçar a curva do Tamanho Médio das Amostras.

Truncamento do Teste - Embora WALD (13) tenha demonstrado que a amostragem seqüencial tem probabilidade 1 de terminar, não existe limite superior quanto ao tamanho da amostra necessário para tomar uma decisão. Wald sugere arbitrar um limite superior m_0 para o tamanho da amostra, limite esse três vezes o tamanho n que teria uma amostra de tamanho fixo.

Então, quando m alcançar o valor $m_0 = 3n$, mesmo que não tenha sido possível tomar alguma decisão, suspende-se a coleta de unidades amostrais. WALD (13) aconselha o seguinte procedimento:

1. Se $\sum_{i=1}^m y_i \geq \frac{a_m + r_m}{2}$ rejeita-se a hipótese $\theta = \theta_0$, ao nível α de significância, e aconselha-se a aplicação de inseticida.
2. Se $\sum_{i=1}^m y_i < \frac{a_m + r_m}{2}$ aceita-se a hipótese $\theta = \theta_0$, com probabilidade β de erro, e não se aconselha o uso de defensivos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição Espacial das Lagartas da Soja - A Tabela 2 mostra as estimativas da média, da variância, do parâmetro k e os níveis de significância do teste χ^2 para verificar o ajustamento às distribuições binomial negativa e de Poisson, para o número de lagartas coletadas nos três locais.

Verifica-se que os dados levantados não se ajustaram à distribuição de Poisson mas tiveram boa aderência à distribuição binomial negativa.

A estimativa do parâmetro k comum aos três locais, calculados pelo método da máxima verossimilhança, foi $\hat{k} = 5,019863$.

Tabela 2. Estimativa da média (\bar{y}), da variância (s^2), do parâmetro k e dos níveis mínimos de significância do teste χ^2 para testar a aderência às distribuições binomial negativa (α_1) e de Poisson (α_p), dos dados de contagem de lagartas da soja.

	SANTA MARIA	FAXINAL DO SORTURNO	JÚLIO DE CASTILHOS
\bar{y}	12,7	16,1	15,8
s^2	49,01	57,04	59,96
\hat{k}	4,4184	5,9199	4,8623
α_1	0,3427	0,4324	0,1940
α_p	0,0000	0,0000	0,0000

Plano de Amostragem Seqüencial - Considerando que o tamanho de uma amostra de tamanho fixo necessário para obter a mesma precisão da amostragem seqüencial é $n = 4$ para a infestação baixa versus moderada $n = 9$ para a infestação moderada versus alta, arbitrou-se $m_0 = 15$ como limite superior do tamanho da amostra seqüencial.

Usando as expressões (10), (11) e (12) que correspondem à distribuição binomial negativa obtiveram-se as seguintes estimativas para os parâmetros das linhas de decisão:

Infestação baixa versus moderada	Infestação moderada versus alta
$h_0 = -27,8588$	$h_0 = -115,8796$
$h_1 = 27,8588$	$h_1 = 115,8796$
$S = 19,242066$	$S = 51,814284$

Com essas estimativas traçou-se a Figura 1 e obtiveram-se os valores da Tabela 3.

Examinando a Tabela 3 verifica-se que se existirem na 1ª unidade amostral 168 lagartas ou mais, a amostragem será suspensa rejeitando a hipótese $M = 45$ com probabilidade de erro $\alpha = 0,05$. Por conseguinte aceita-se a hipótese $M = 60$, isto é, considera-se a infestação como sendo alta.

A 2ª, 3ª e 4ª unidade amostral permitem classificar a infestação em baixa, se o número acumulado de lagartas foi igual ou inferior a 10, 29 ou 49, respectivamente, ou em alta se esse número for igual ou superior a 220, 272 ou 324.

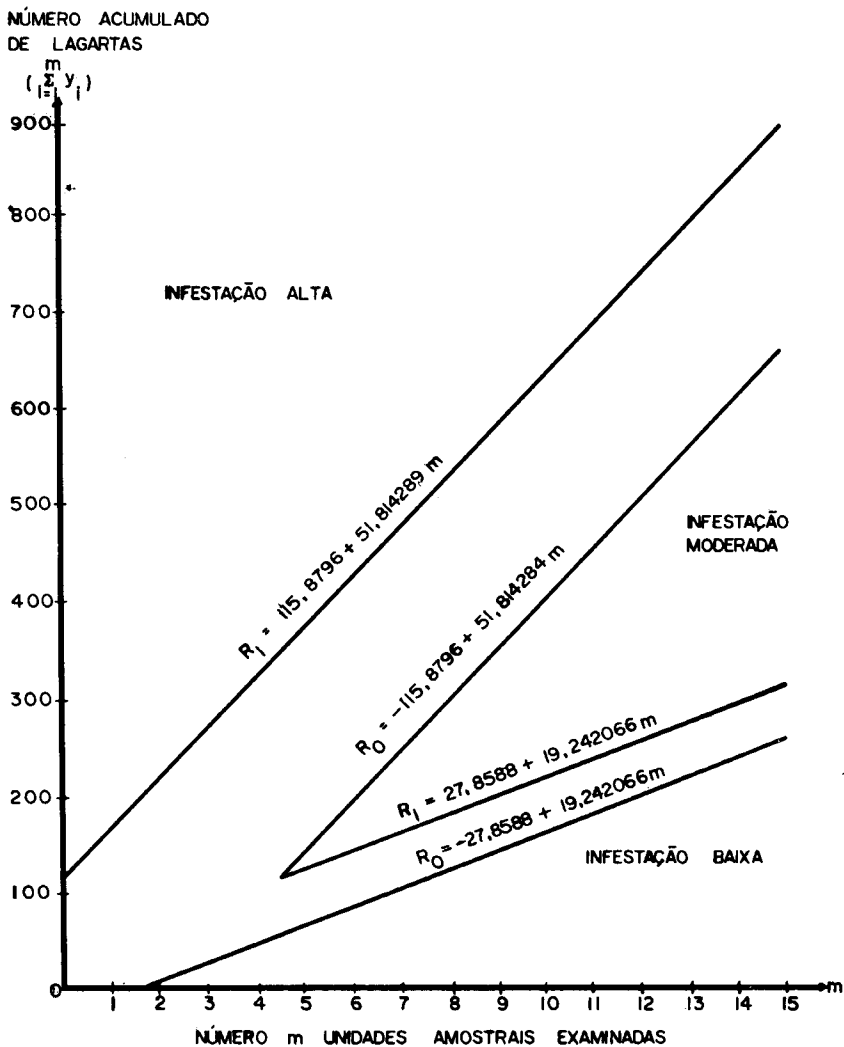


Figura 1. Representação gráfica das linhas de decisão do plano de amostragem seqüencial para classificar a infestação de lagartas de lavouras de soja em baixa, moderada ou alta.

Tabela 3. Valores a_m e r_m para o plano de amostragem seqüencial para classificar a infestação de lagartas das lavouras de soja em baixa, moderada ou alta.

NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS EXAMINADAS	INFESTAÇÃO			
	Baixa versus Moderada		Moderada versus Alta	
	a_m	r_m	a_m	r_m
1	ND*	ND	ND	168
2	10	ND	ND	220
3	29	ND	ND	272
4	49	ND	ND	324
5	68	125	143	375
6	87	144	195	427
7	106	163	246	479
8	126	182	298	531
9	145	202	350	583
10	164	221	402	635
11	183	240	454	686
12	203	259	505	738
13	222	279	557	790
14	241	298	609	842
15	260	317	661	894

*ND = Não é possível tomar decisões

A partir da 5ª unidade amostral pode-se classificar infestação em baixa, moderada ou alta. A infestação será considerada baixa se o número acumulado de lagartas coletadas nas 5 amostras for igual ou inferior a 68. Será considerada alta se esse número for igual ou superior a 375. Um número de lagartas entre 125 e 143 inclusive, caracterizará uma infestação moderada. Se o número acumulado de lagartas estiver entre 69 e 124 ou entre 144 e 374, outras unidades amostrais devem ser examinadas até que seja possível classificar a lavoura num dos 3 níveis de infestação.

Se após ter examinado 15 unidades amostrais ainda não tiver sido tomada nenhuma decisão deve-se suspender a amostragem. Se o número acumulado de lagartas for igual ou menor que 288 considera-se a infestação como sendo baixa. Se esse número for igual ou maior que 778 classifica-se a infestação da lavoura como sendo alta. Um número de lagartas entre 289 e 777 caracterizará uma infestação moderada.

Curva Característica de Operação e Curva do Tamanho Médio das Amostras - A Tabela 4 mostra os valores de W atribuídos nas expressões (13) e (17) e os valores p , M , $P(M)$ obtidos e ainda os valores $E_M(n)$ obtidos pela expressão (18).

Com os valores M e $P(M)$ traçou-se a curva Característica de Operação (Figura 2).

Verifica-se pela Tabela 4 e também pela Figura 2 que quando $M = 15$ e quando $M = 45$ para testar, respectivamente, a infestação baixa versus moderada e moderada versus alta, o valor da função Operatória Característica é $P(M) = 0,95$. Isto indica que, quando a média de infestação da lavoura atinge esses valores, o teste tem probabilidade de 0,95 de aceitar as hipóteses $M = 15$ e $M = 45$, respectivamente. Existe então a probabilidade de 0,05 de rejeitar essas hipóteses mesmo sendo verdadeiras. É a probabilidade α de erro.

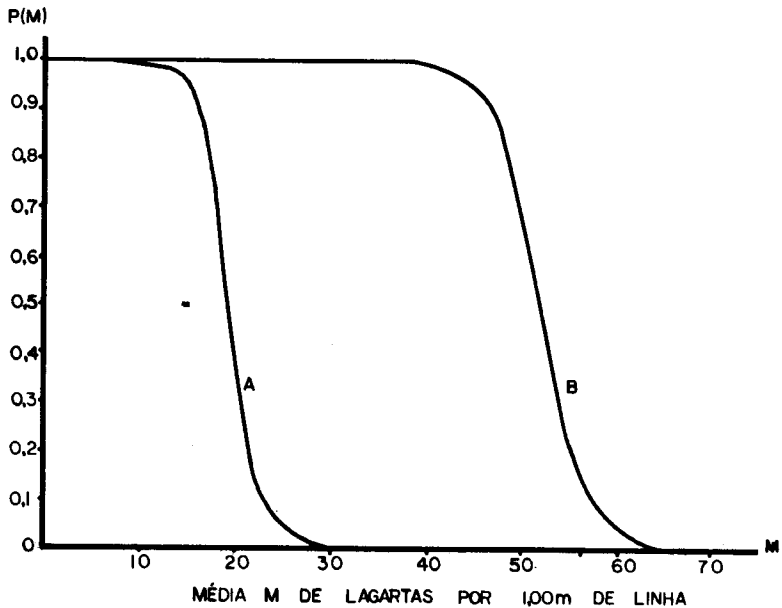


Figura 2. Curva da Função Operatória Característica; $P(M)$, para classificar a infestação de lagartas de lavouras de soja em baixa ou moderada (curva A) e em moderada ou alta (curva B).

Tabela 4. Valores de p , M , $P(M)$ e $E_M(n)$ correspondentes aos valores atribuídos à variável auxiliar W .

W	INFESTAÇÃO BAIXA VERSUS MODERADA				INFESTAÇÃO MODERADA VERSUS ALTA			
	p	M	$P(M)$	$E_M(n)$	p	M	$P(M)$	$E_M(n)$
10,0	0,52	2,63	1,0000	1,68	3,20	16,09	1,0000	3,24
8,0	0,72	3,63	1,0000	1,78	3,89	19,54	1,0000	3,59
6,0	1,03	5,17	0,9999	1,98	4,81	24,16	0,9999	4,19
4,0	1,52	7,65	0,9999	2,40	6,07	30,49	0,9999	5,43
3,0	1,88	9,46	0,9998	2,85	6,88	34,52	0,9998	6,70
2,0	2,36	11,84	0,9972	3,74	7,83	39,30	0,9972	9,21
1,8	2,47	12,40	0,9950	4,03	8,04	40,36	0,9950	10,02
1,6	2,59	13,00	0,9910	4,38	8,26	41,46	0,9910	10,99
1,4	2,71	13,63	0,9840	4,80	8,49	42,60	0,9840	12,17
1,2	2,85	14,29	0,9716	5,31	8,72	43,78	0,9716	13,60
1,0	2,99	15,00	0,9500	5,91	8,96	45,00	0,9500	15,30
0,9	3,06	15,37	0,9340	6,24	9,09	45,63	0,9340	16,26
0,8	3,14	15,75	0,9133	6,60	9,22	46,27	0,9133	17,27
0,7	3,22	16,14	0,8870	6,96	9,35	46,92	0,8870	18,32
0,6	3,30	16,55	0,8540	7,32	9,48	47,58	0,8540	19,37
0,5	3,38	16,96	0,8133	7,66	9,61	48,25	0,8133	20,39
0,4	3,46	17,39	0,7645	7,96	9,75	48,94	0,7645	21,33
0,3	3,55	17,83	0,7075	8,20	9,89	49,64	0,7075	22,10
0,2	3,64	18,29	0,6431	8,36	10,03	50,35	0,6431	22,66
0,1	3,74	18,76	0,5730	8,41	10,17	51,08	0,5730	22,93
-0,1	3,93	19,74	0,4269	8,16	10,47	52,57	0,4269	22,52
-0,2	4,04	20,26	0,3568	7,87	10,62	53,33	0,3568	21,84
-0,3	4,14	20,79	0,2924	7,49	10,78	54,11	0,2924	20,92
-0,4	4,25	21,33	0,2364	7,05	10,94	54,91	0,2364	19,82
-0,5	4,36	21,90	0,1866	6,57	11,10	55,72	0,1866	18,61
-0,6	4,48	22,48	0,1459	6,09	11,26	56,54	0,1459	17,35
-0,7	4,60	23,08	0,1129	5,62	11,43	57,38	0,1129	16,11
-0,8	4,72	23,70	0,0866	5,16	11,60	58,24	0,0866	14,91
-0,9	4,85	24,34	0,0659	4,74	11,78	59,11	0,0659	13,78
-1,0	4,98	25,00	0,0500	4,35	11,95	60,00	0,0500	12,74
-1,2	5,26	26,38	0,0283	3,68	12,32	61,83	0,0283	10,92
-1,4	5,55	27,86	0,0159	3,13	12,69	63,73	0,0159	9,42
-1,6	5,86	29,43	0,0089	2,68	13,09	65,70	0,0089	8,20
-1,8	6,20	31,10	0,0049	2,32	13,50	67,74	0,0049	7,20
-2,0	6,55	32,89	0,0027	2,03	13,92	69,87	0,0027	6,38
-3,0	8,73	43,81	0,0001	1,13	16,30	81,83	0,0001	3,86
-4,0	11,76	59,05	0,0000	0,70	19,19	96,36	0,0000	2,60
-6,0	22,08	110,83	0,0000	0,30	27,04	135,76	0,0000	1,38
-8,0	43,04	216,05	0,0000	0,14	38,88	195,16	0,0000	0,81
-10,0	86,55	434,49	0,0000	0,07	56,93	285,76	0,0000	0,49

Pelo mesmo processo são obtidas as probabilidades de aceitar H_0 ou seja, de tomar decisões certas ou erradas, dependendo do caso, para qualquer valor de M , isto é, para qualquer nível de infestação da lavoura.

Com os pontos $\{M; E_M(n)\}$ foi traçada a curva do Tamanho médio das Amostras. Essa curva (Figura 3), além de evidenciar a variação $E_M(n)$ permite obter valores dessa variável para pontos que não constam da Tabela 4.

Na Tabela 4 e na Figura 3 verifica-se que se $M = 10$, isto é, se a infestação da lavoura corresponder a 10 lagartas por metro de linha, então $E_M(n) \approx 3$. Isso indica que em lavouras com essa infestação são necessárias, em média, 3 unidades amostrais antes de tomar uma decisão. Se $M = 80$ uma decisão seria tomada após examinar, em média, 4 unidades amostrais. Para $M = 50$ seriam necessárias 22 unidades amostrais, embora, como foi visto, o teste seja truncado de pois de examinar 15 unidades.

É óbvio que, ao iniciar a amostragem numa lavoura, não se conhece a média M de infestação e, por conseguinte, não se pode obter nem $P(M)$ nem $E_M(n)$ para essa lavoura. Mesmo assim as duas curvas, ora apresentadas, fornecem uma visão geral do funcionamento do plano de amostragem seqüencial.

Complementações - Este trabalho não tem pretensões de apresentar um plano de amostragem seqüencial perfeito. Deve ser considerado como um primeiro passo nesse sentido, devendo ser aperfeiçoado paulatinamente.

Os parâmetros da distribuição espacial da praga devem ser determinados com maior precisão, fazendo levantamentos em outras regiões e em outros anos. Ao executar esses levantamentos dever-se-á examinar 100 unidades amostrais e abranger também graus mais elevados de infestação.

Quanto ao uso de inseticidas podem ser recomendadas as seguintes regras:

a) Se a lavoura for classificada como tendo infestação baixa, não será necessário aplicar inseticidas, qualquer que seja o estágio da cultura.

b) Se a lavoura for classificada como tendo infestação alta preconizar-se-á a aplicação imediata de inseticida.

c) Se a infestação for moderada aplicar-se-á inseticida, qualquer que seja o estágio da cultura, desde que haja um desfolhamento de 30% ou mais e não existam lagartas mortas por doenças ou parasitos. Independente do grau de desfolhamento o inseticida deverá ser aplicado se a cultura estiver na fase de fim de floração ou formação de vagens.

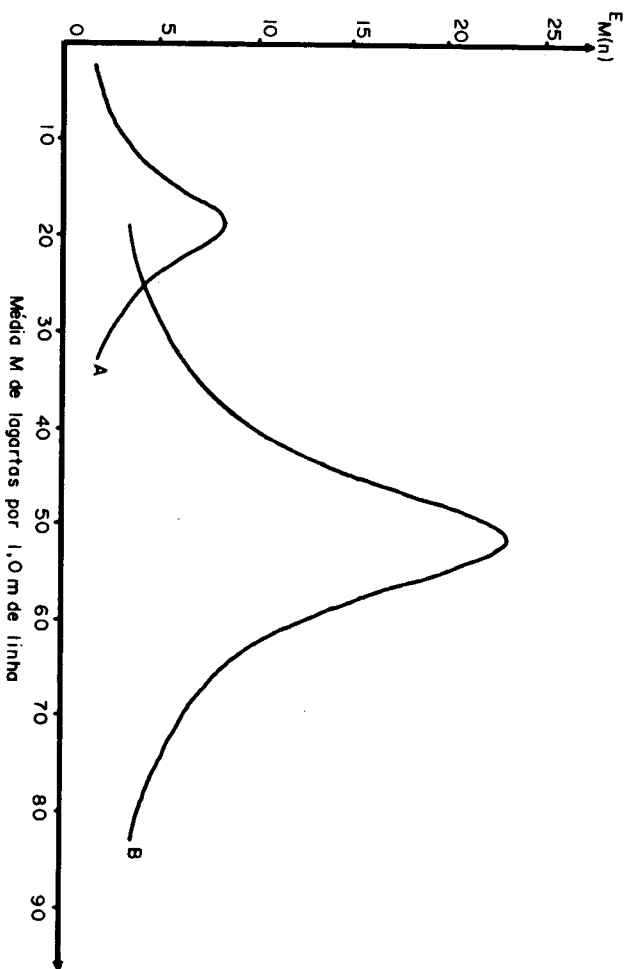


Figura 3. Curva do Tamanho Médio das Amostras; $E_M(n)$, para classificar a infestação de lagartas de lavouras de soja em baixa ou moderada (curva A) e em moderada ou alta (curva B).

d) Entretanto, se a infestação tiver sido moderada e não for aplicado inseticida, ou se a infestação tiver sido baixa mas a soja estiver em estágio de floração ou de formação de vagens, então a lavoura deverá ser reexaminada a cada 3 ou 4 dias.

e) Em qualquer caso de aplicação deverá ser retardada se houver prenúncio de chuva forte eminente. A chuva, além de remover o inseticida, tornando inócua sua aplicação, reduz a população da praga.

Com base na experiência adquirida nos levantamentos executados, fixou-se o tempo de 3 minutos para uma infestação baixa e de 4 minutos para uma infestação alta como sendo suficiente para examinar uma unidade amostral. Considerando o caso de uma infestação alta com o máximo de 15 unidades amostrais, conclui-se que o tempo máximo necessário para inspecionar uma lavoura é de uma hora. Entretanto, raras vezes esse tempo será necessário. O mais provável é que a inspeção termine antes de examinar 15 unidades amostrais, muitas vezes com 4 ou 5 unidades, o que corresponde ao tempo de 15 a 20 minutos.

Pelos padrões atuais de comportamento dos agricultores esse procedimento pode ser considerado árduo e moroso. Atualmente a simples presença da praga determina o uso imediato de medidas de controle, e existem aqueles que aplicam o inseticida periodicamente como tratamento preventivo, sem que haja infestação.

Mas se considerados o custo da aplicação do produto e os malefícios ao equilíbrio biológico provenientes da aplicação desnecessária de inseticidas, chega-se à conclusão que há grande vantagem em adotar a amostragem, embora a tomada de decisão exija mais trabalho.

Estudos devem ser feitos para determinar a área máxima abrangida por uma amostragem. Para outras pragas a bibliografia não aconselha que essa área seja superior a 15 ha. Se a lavoura for maior que 15 ha ela deve ser dividida e em cada parte deve ser feita uma amostragem.

CONCLUSÕES

Com base nos dados estudados conclui-se que:

1. As contagens de número de lagartas *Anticarsia gemmatalis* (Hübner) e *Plusia* spp por 1,00 m de linha se ajustam à distribuição binomial negativa e não ao modelo de Poisson.

2. Com o exame de, no máximo 15 unidades amostrais, operação que exige 1 hora no máximo, é possível classificar a infestação de lagartas de uma lavoura de soja em baixa, moderada e alta, e então decidir sobre a conveniência ou não de aplicar medidas de controle.

LITERATURA CITADA

1. BLISS, C.I. & FISHER, R.A. - Fitting the Negative Binomial Distribution to Biological Data. *Biometrics*, Raleigh, 9: 176-200, 1953.
2. BOLDT, P.E.; BIEVER, K.D.; IGNOFFO, C.M. - Lepidopteran Pests of Soybeans: Consumption of Soybean Foliage and Pods and Development Time. *Journal of Economic Entomology*, Menasha, 68:480-482, 1975.
3. DAVIES, R.G. - *Computer Programing in Quantitative Biology*. Londres, Academic Press, 1971. 492p.
4. IVES, W.G.H. & PRENTICE, R.M. - A sequential Sampling Technique for Survey of the Larch Sawfly. *The Canadian Entomologist*, Ottawa, 90:331-338, 1958.
5. KNIGHT, F.B. - Evaluation of Forest Insect Infestations. *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, 12:207-228, 1967.
6. MORRIS, R.F. - A sequential Sampling Technique for Spruce Budworm Egg Surveys. *The Canadian Journal of Zoology*, Ottawa, 32:302-312, 1954.
7. MORRIS, R.F. - Sampling Insect Populations, *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, 5:243-264, 1960.
8. OAKLAND, G.B. - An application of Sequential Analysis of Whittiefisch Sampling. *Biometrics*, Raleigh, 8:59-67, 1950.
9. STARK, R.W. - Sequential Sampling of the Lodgepole Needle Miner, *Forestry Chronicle*, Toronto, 28:57-60, 1952.
10. THOMAS, G.D.; IGNOFFO, C.M.; BIEVER, K.D.; SMITH, D.B. - Influence of Defoliation and Depodding on Yield of Soybeans. *Journal of Economic Entomology*, Menasha, 67:683-685, 1974.
11. TURNIPSEED, S.G. - Manejo das Pragas da Soja no Sul do Brasil. *Trigo e Soja*, Porto Alegre, 1(1):4-7, 1975.
12. WADDILL, V.G.; SHEPARD, B.M.; TURNIPSEED, S.C.; CARNER, G.R. - Sequential Sampling Plans for *Nabis* spp and *Geocoris* spp and Soybeans. *Environmental Entomology*, College Park, 3: 415-419, 1974.
13. WALD, A. - *Sequential Analysis*. Nova York, John Wiley, 1947. 212p.
14. WATERS, W.E. - Sequential Sampling in Forest Insect Surveys, *Forest Science*, Washington D.C., 1:68-79, 1955.