

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DETERMINÍSTICO COMPARTIMENTAL
PARA SIMULAR O CONTROLE DE *Heliothis virescens*
(FABR., 1781) ATRAVÉS DE *Trichogramma* spp¹

Orgheda L.A.D. Zucchi²
José R. P. Parra³

Sinval Silveira Neto³
Roberto A. Zucchi³

ABSTRACT

Development of a compartmental deterministic model to simulate the biological control of the cotton budworm *Heliothis virescens* (Fabr., 1781) by *Trichogramma* spp.

A compartmental deterministic modelo to simulate the population dynamics of the cotton budworm and biological control by *Trichogramma* spp. was constructed based on experimental data. For the simulation, an efficiency of 50% parasitism on the viable eggs of the cotton budworm was assumed. The adjustment of the model was verified, independently, for only one pest generation.

RESUMO

A partir de dados experimentais desenvolveu-se um modelo determinístico compartimental para simular a dinâmica populacional da lagarta-da-maçã *Heliothis virescens* (Fabr., 1781) e seu controle através de *Trichogramma* spp.

Admitiu-se, para fins de simulação, uma eficiência de parasitismo de 50%, com base na viabilidade de ovos da lagarta-

Recebido em 9/6/89

¹ Pesquisa financiada pela FINEP e FBB.

² Dept^o Física e Química, FCFRP/USP, Via do Café, s/n^o, 14049 Ribeirão Preto, SP.

³ Dept^o Entomologia, ESALQ/USP, Caixa Postal 9, 13400 Piracicaba, SP.

ta-da-maçã, verificando-se, assim, o comportamento do modelo proposto quando este é aplicado em uma única geração da praga.

INTRODUÇÃO

A cotonicultura é bastante afetada por pragas, que podem atacar desde o plantio até a colheita, prejudicando tanto a quantidade como a qualidade de fibras e sementes. Dentre as pragas, a lagarta-da-maçã *Heliothis virescens* (Fabr., 1781) é apontada como um dos maiores problemas pois destrói, principalmente, os órgãos de frutificação, afetando diretamente a produção.

Um dos métodos de controle alternativo da lagarta-da-maçã é o biológico, que consiste na multiplicação de seus inimigos naturais em laboratório para posterior liberação nos algodoados mais infestados. Dentre estes inimigos encontram-se os micro-himenópteros do gênero *Trichogramma*.

Embora esta técnica de controle tenha, nos últimos anos, reduzido os prejuízos causados pela lagarta-da-maçã, em alguns países produtores de algodão, como Peru e Colômbia, o sistema (cultura do algodão/lagarta-da-maçã/inimigos naturais/variáveis externas) não é bem conhecido.

Para estudos desta natureza, as técnicas de análise de sistemas e modelagem matemática são particularmente úteis (SRI LLO, 1984). Dentre os modelos utilizados os mais versáteis e de fácil tratamento matemático são os determinísticos compartimentais.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo determinístico compartimental para simular a dinâmica populacional da lagarta-da-maçã *H. virescens* e seu controle biológico com *Trichogramma* spp.

MATERIAL E MÉTODOS

As hipóteses propostas para se atingir o objetivo do trabalho foram:

a) Há um limiar térmico (temperatura base) (T_b) para que se processe o desenvolvimento do inseto;

b) O produto do tempo requerido para que o inseto complete o seu desenvolvimento pela sua temperatura efetiva é uma constante (constante térmica em graus dias) e

c) O aumento e/ou diminuição da população da praga é função de sua sobrevivência, fertilidade, razão sexual, fecundidade, além da população efetiva do parasitóide.

Através do diagrama de FORRESTER (1976) pôde-se esquematizar o modelo adotado para a dinâmica populacional de *Heliothis virescens* (Fabr., 1781) (Figura 1) sendo:

X1, X2, X3, X4: compartimento de ovo, larva, pupa e adulto (fêmea), respectivamente.

S(i): sobrevivência de cada compartimento.

Tb(i): temperatura base (°C) para cada compartimento.

K(i): constante térmica (graus dias = GD) para cada compartimento.

RS: razão sexual da espécie (fêmea) (fêmea + macho = 0,5).

FE: fecundidade da espécie (nº ovos/fêmea).

FF: fertilidade da espécie (% de eclosão de larvas).

À medida que os parâmetros que regulam o aumento e/ou diminuição da população da praga foram introduzidos ao modelo, efetuaram-se as simulações pertinentes, para verificar se as equações matemáticas empregadas representavam corretamente a situação estudada.

Após a adequação do modelo, admitiu-se uma eficiência de parasitismo de *Trichogramma* spp. de 50% nos ovos viáveis da praga (o parasitismo pode atingir até 90% baseando-se em dados do Deptº Entomologia, não publ.), simulando-se seu efeito quando a liberação é feita na 1ª, 2ª ou 3ª geração da praga.

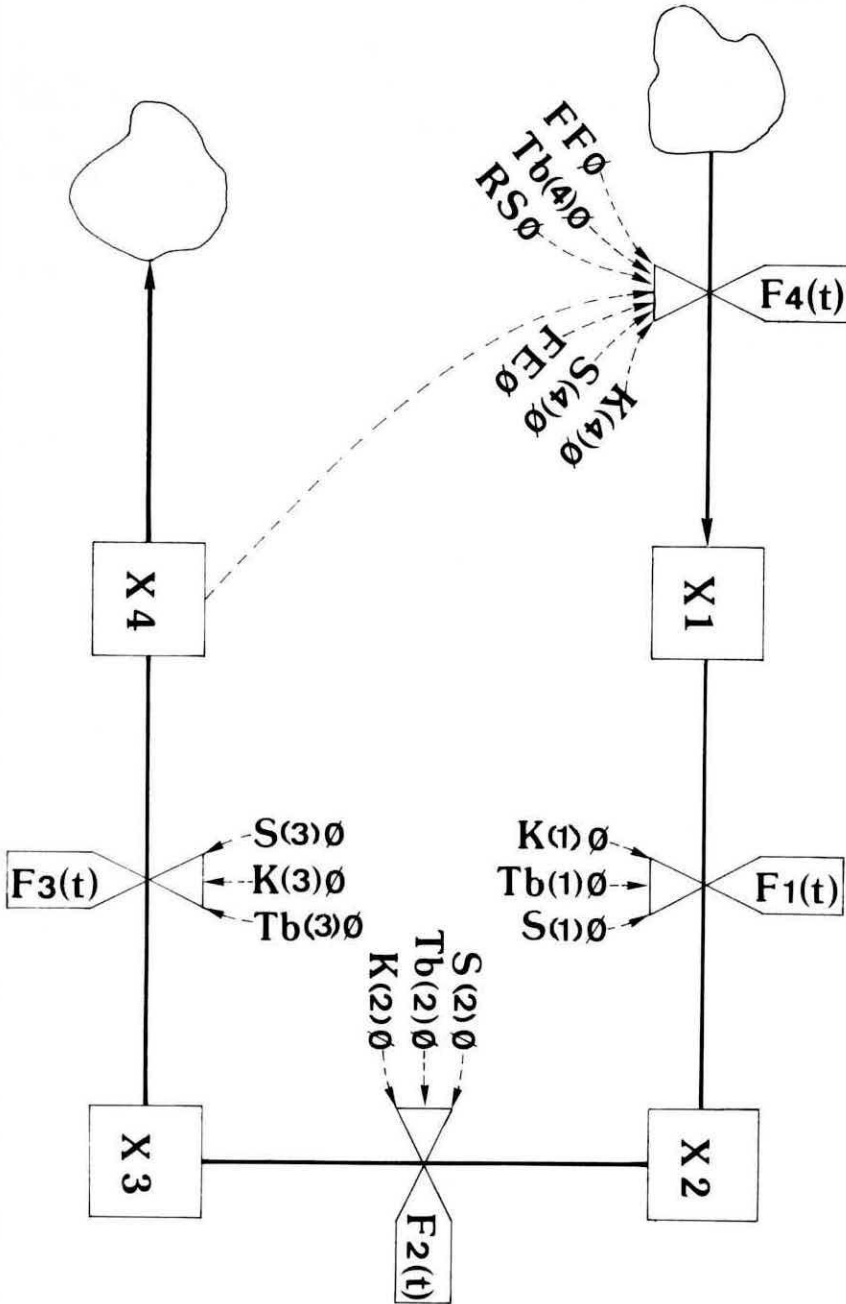


FIGURA 1 - Diagrama de Forrester para a dinâmica populacional da lagarta-da-maçã do algodoeiro *Heliothis virescens*.

Para o cálculo das temperaturas diárias, através de interpolação linear, foram usadas as médias mensais das temperaturas da região de Ribeirão Preto (SP), coletadas durante os anos de 1959 a 1985, obtidas na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Os parâmetros biológicos utilizados no modelo foram obtidos através dos dados experimentais de SOUZA (1981).

Os valores da temperatura base (T_b) e da constante térmica (K) foram determinados a partir dos dados de duração (D) de cada fase em função da temperatura (T), uma vez que:

$$K = D \cdot (T - T_b) \quad (1)$$

onde $T - T_b$ = temperatura efetiva do inseto.

Escrevendo a equação (1) na sua forma linear tem-se:

$$1/D = -T_b/K + 1/K \cdot T \quad (2)$$

As equações obtidas para estas fases, em sua forma linear foram:

$$\text{Ovo: } 1/D = -0,1737 + 0,0160 \cdot T \quad (i)$$

$$\text{Larva: } 1/D = -0,0223 + 0,0026 \cdot T \quad (ii)$$

$$\text{Pupa: } 1/D = -0,0699 + 0,0051 \cdot T \quad (iii)$$

$$\text{Fase adulta: } 1/D = -0,3978 + 0,0221 \cdot T \quad (iv)$$

Para que se observe uma nova geração, considera-se apenas o período de pré-oviposição das fêmeas obtidas. A partir dos dados obtidos por SOUZA (1981), determinou-se a equação de desenvolvimento de *H. virescens*.

$$\text{Período pré-ovip.: } 1/D = -0,0415 + 0,0076 \cdot T \quad (v)$$

A partir destas equações (i,ii,iii e v) determinou-se o número de gerações/ano da lagarta-da-maçã para as isotermas de 19°C a 25°C, tendo em vista que é nesta faixa de variação de temperatura que se encontram as plantações de algodão. Através do número de indivíduos do último compartimento (fêmeas em pré-oviposição), obtidos através das simulações, em função do tempo, para cada isoterma, pôde-se estimar o número de gerações anuais da lagarta-da-maçã (sistema sem ganho e sem perdas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em função da temperatura, a lagarta-da-maçã pode apresentar de 3,16 a 7,96 e de 4,91 a 8,00 gerações por ano, quando obtidas através das equações de desenvolvimento e através das simulações, respectivamente, sendo que quanto mais alta a temperatura maior o número de gerações (Quadro 1). Esses resultados estão próximos aos de GUEVARA (1983), que estimou, para regiões com isotermas anuais entre 19 e 23°C, 4 a 7 gerações anuais de *H. virescens*. Ainda, segundo GUEVARA (*loc.cit.*) quando os graus dia são somados por pântada, em seis localidades selecionadas no Estado de São Paulo, podem ocorrer de 2 a 4 gerações da lagarta-da-maçã em algodeiro de novembro a abril, sendo que numa mesma localidade pode haver de 4 a 6 gerações anuais (algodeiro e hospedeiros alternativos).

QUADRO 1 - Número de gerações/ano de *Heliothis virescens*, para cada isoterma, determinado através das equações de desenvolvimento e das simulações.

Isotermas (°C)	Número de gerações/ano	
	Ng(a)	Ng(b)
19	3,16	4,91
20	4,39	5,01
21	5,06	5,91
22	6,00	6,06
23	6,82	6,96
24	7,09	7,15
25	7,96	8,00

Ng(a): a partir das equações (i), (ii), (iii) e (v) (teórico).

Ng(b): área sob a curva do número de indivíduos do último compartimento (Período pré-ovip.) em função do tempo, obtida através de simulações de um sistema fechado.

Através da análise de variância verificou-se a significância para as equações de regressão relativas ao número de gerações anuais da lagarta-da-maçã em função das isotermas, para as duas situações estudadas, (Quadro 1), obtendo-se uma significância de 0,1%.

As equações de regressão obtidas para estas duas situações foram:

(a) $Nq/\text{ano} = -5,4858 + 0,5010 \cdot T$

$$(b) \text{ Ng/ano} = -5,1863 + 0,5212 \cdot T$$

Não há diferença significativa entre os coeficientes angulares das equações de regressão relativas ao número de gerações anuais em função das isotermas (teste "t"), obtidas a partir das simulações e através das equações de desenvolvimento (Quadro 2).

Assim sendo, pode-se afirmar que os parâmetros utilizados nas equações matemáticas (ZUCCHI, 1988) do modelo determinístico compartimental estão ajustadas, retratando a dinâmica populacional de *H. virescens*.

QUADRO 2 - Teste de hipótese para os coeficientes angulares das retas (a) e (b).

	(a)	(b)
(a)	--	-0,48 ns
(b)	-0,48 ns	--

Na avaliação do modelo em presença de *Trichogramma* spp., acrescentou-se ao modelo anterior uma sobrevivência de 50% para cada fase além de uma fecundidade média de 170 ovos/fêmea (SOUZA, 1981).

Devido a grande variabilidade nos dados de fertilidade de *H. virescens*, estimou-se este parâmetro de maneira a se obter um aumento médio de 5 vezes na população das fêmeas em pré-oviposição (KNIPLING, 1979). Através das simulações, o valor encontrado para a fertilidade foi de 80%.

Admitiu-se também, para fins de simulação, uma eficiência de parasitismo de 50% sobre ovos da lagarta-da-maçã. Pode-se assim verificar o comportamento do modelo quando o controle é aplicado durante uma única geração da praga. Todavia, é preciso ressaltar que com base na constante térmica (GD), desde o início do plantio do algodoeiro (outubro) poderia, teoricamente, ocorrer a 1ª geração de *H. virescens*. Entretanto, de acordo com a fenologia do algodoeiro, a 1ª geração da lagarta-da-maçã surge, em realidade, a partir de dezembro. Desta forma, a 2ª geração da praga obtida através do modelo e simulação corresponde à 1ª geração normalmente constatada em condições de campo.

Assim, se o controle da praga é efetuado durante uma única geração, deve-se optar pela liberação do parasitóide em meados de dezembro (2ª geração teórica da praga), para que a pro

xima geração (fins de janeiro) se mantenha sob controle (Quadro 3). É nesta época que o algodeiro é mais susceptível a *H. virescens*, ou seja, plantas com 100 a 110 dias (TAKAHASHI, 1981).

QUADRO 3 - Razão populacional entre gerações de *H. virescens* em pré-oviposição com uma eficiência de parasitismo por *Trichogramma* spp. de 50% nos ovos durante a 1ª, 2ª ou 3ª geração da praga.

Razão	Controle com <i>Trichogramma</i>		
	1ª GERAÇÃO	2ª GERAÇÃO	3ª GERAÇÃO
N2/N1	2,477	4,734	4,949
N3/N2	4,771	2,497*	4,778
N4/N3	5,508	5,508	2,753
N5/N4	5,618	5,618	5,618

N_i = i-ésima geração completa da *H. virescens* (i = 1,2..5).

CONCLUSÕES

Através das simulações do modelo estudado para representar a dinâmica populacional da lagarta-da-maça e seu controle com *Trichogramma* pode-se concluir que:

- o número de gerações da praga varia linearmente com as isotermas,

- o número de gerações anuais para cada isoterma não difere estatisticamente quando calculadas através das equações de desenvolvimento ou através das simulações, indicando a adequação do modelo.

- o número de gerações existentes durante o cultivo do algodão (15 de outubro a 15 de maio) é de aproximadamente três na região de Ribeirão Preto, SP.

- o controle biológico de *H. virescens*, quando feito através da liberação de *Trichogramma* spp., em uma única geração, deve ser iniciado em meados de dezembro (2ª geração teórica da praga).

LITERATURA CITADA

- FORRESTER, J.W. Principles of systems. Cambridge, Wright Allen Press. Inc. 1976, 320p.
- GUEVARA, L.A.C. Previsão de ocorrência e zoneamento ecológico de *Heliothis virescens* (Fabr., 1781) (Lep., Noctuidae) em cultura de algodão. Piracicaba, ESALQ/USP, 1983, 177p. (Tese de doutoramento).
- KNIPLING, E.F. The basic principles of insect population suppression and management. USDA, *Agriculture Handbook*, 512, 1979. 659pp.
- SGRILLO, R.B. Desenvolvimento de modelo determinístico compartimental para simulação da dinâmica populacional da broca-da-cana, *Diatraea saccharalis* (F., 1794), Piracicaba, CENA/FINEP, 1984. 87p. (Relatório Técnico).
- SOUZA, A.R.R. Biologia comparada de *Heliothis virescens* (Fabr. 1781) (Lepidoptera-Noctuidae) a diferentes temperaturas em meios natural e artificial. Piracicaba (SP), 1981 87p. (Dissertação de Mestrado).
- TAKAHASHI, M.K. Determinação de alguns parâmetros visando o manejo de *Heliothis virescens* (Fabr., 1781) (Lepidoptera - Noctuidae) em cultura de algodão Piracicaba ESALQ/USP, 1981. 62p. (Dissertação).
- ZUCCHI, O.L.A.D. Desenvolvimento de um modelo e simulação do controle biológico da lagarta-da-maçã *Heliothis virescens* com *Trichogramma*. Ribeirão Preto, CERT-USP, Faculdade de Ciências Farmacêuticas 1988. 58p. (Datilografado).