



FOL 05251

2000

FL-05251

ISSN 1516-4349

Número 4

Dezembro, 2000

**Modelagem e simulação do impacto do
fungo *Nomuraea rileyi*
nas populações da lagarta da soja,
Anticarsia gemmatalis.**

Embrapa

Recursos Genéticos e Biotecnologia

República Federativa do Brasil
Presidente

Fernando Henrique Cardoso

Ministério da Agricultura e do Abastecimento - MA
Ministro

Marcus Vinícius Pratini de Moraes

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa

Diretor - Presidente

Alberto Duque Portugal

Diretores - Executivos

Elza Angela Battaglia Brito da Cunha

José Roberto Rodrigues Peres

Dante Daniel Giacomelli Scolari

Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia
Chefe Geral

Luiz Antonio Barreto de Castro

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Bonifácio Peixoto Magalhães

Chefe Adjunto de Comunicação Negócios e Apoio

José Manuel Cabral de Sousa Dias

Chefe Adjunto Administrativo

Arthur da Silva Mariante

**Modelagem e simulação do impacto do
fungo *Nomuraea rileyi*
nas populações da lagarta da soja,
Anticarsia gemmatalis.**

FOL 5251 ex. 2

Edison Ryoiti Sujii
Myrian Silvana Tigano
Daniel Sosa-Gomes



Recursos Genéticos e Biotecnologia

Brasília, DF

2000

Embrapa – Recursos Genéticos e Biotecnologia.

Circular Técnica N.º 4

Exemplares desta publicação podem ser solicitados a:

Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia

Serviço de Atendimento ao Cliente

Parque Estação Biológica – PqEB – W/5 norte Final

CEP 70.770-900 - Caixa Postal 02372

PABX: 0 (XX) 61 448-4768

Fax: 0(XX) 61 448-4700

<http://www.cenargen.embrapa.br>

e.mail: sac@cenargen.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: José Manuel Cabral de Sousa Dias

Secretária Executiva: Miraci de Arruda Camara Pontual

Membros: Antonio Emídio Dias Feliciano da Silva

Marcos Rodrigues de Faria

Marta Aguiar Sabo Mendes

Marisa de Góes

Rui Américo Mendes

Suplentes: Sueli Correa Marques de Mello

Vera Tavares Campos Carneiro

Tratamento Editorial: Miraci de Arruda Camara Pontual

Normalização Bibliográfica: Maria Iara Pereira Machado

Editoração Eletrônica: Rita de Cássia Sales Santana

Tiragem: 200 exemplares

Unidade	Embrapa Cenargen
Valor aquisição	
Data aquisição	2001
N.º N. Fiscal/Fatura	
Fornecedor	
N.º OCS	
Origem	Deeçao
N.º Registro	FOL

5957 ex-2

SUII, E.R.; TIGANO, M.S.; SOSA-GOMES, D. **Modelagem e simulação do impacto do fungo *Nomuraea rileyi* nas populações da lagarta da soja, *Anticarsia gemmatilis*.** Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2000. 33p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Circular Técnica, 4).

ISSN 0102-0129

1. Praga de Planta – manejo 2. *Anticarsia gemmatilis* 3. *Nomureae rileyi* 4. Fungo 5. Epizootia I. Tigano, M.S. II. Sosa-Gomes, D. III. Título V. Série.

CDD 632.7

© Embrapa – 2000

SUMÁRIO

Resumo.....	05
1. Introdução.....	06
2. Levantamentos populacionais de <i>A. Gemmatalis</i>	07
3. Avaliação do modelo de infecção de <i>A. Gemmatalis</i> - por <i>N. Rileyi</i> desenvolvido por Kish & Allen (1978)....	08
4. Desenvolvimento de um sistema integrado para si- mulação da dinâmica populacional de <i>A. Gemmata- lis</i> e da incidência de <i>N. Rileyi</i>	17
4.1. Soja e interações inseto-planta.....	17
4.2. Ciclo de vida e bionomia de <i>A. Gemmatali</i>	18
4.3. Esporulação de <i>N. Rileyi</i>	18
4.4. Infecção e epizootia	19
5. Avaliação do sistema integrado	30
6. Considerações Finais.....	30
7. Referências Bibliográficas	32

**Modelagem e simulação do impacto do fungo
Nomuraea rileyi nas populações da lagarta da soja,
*Anticarsia gemmatalis***

Edison Ryoiti Sujii¹
Myrian Silvana Tigano¹
Daniel Sosa-Gomes²

RESUMO - O fungo entomopatogênico *Nomuraea rileyi* pode produzir epizootias em populações de lagarta da soja, *Anticarsia gemmatalis*, controlando a praga naturalmente sem a interferência de uso de inseticidas aplicados pelo agricultor. No entanto, este fenômeno nem sempre ocorre a tempo de evitar que as populações desta praga atinjam o nível de dano econômico na cultura.

A partir de um modelo matemático desenvolvido para simular na região da Flórida, EUA, a ocorrência de *N. rileyi* em populações de *A. gemmatalis*, foi desenvolvido um sistema que integrou ao modelo original os dados de estudos ecológicos obtidos em condições brasileiras, assim como modelos fenológicos para a cultura da soja e a praga, interações inseto-planta e dinâmica populacional da praga. O sistema foi desenvolvido com base em equações de diferenças que são processadas em computador pelo programa STELLA versão 5.0 Research, como equações diferenciais gerando funções contínuas. A avaliação do modelo demonstrou que o sistema é capaz de simular os dados de campo com relativa precisão e que a realização de simulações sistemáticas permitirá o seu uso como ferramenta auxiliar na tomada de decisões pelo produtor no manejo da praga. Embora ainda seja necessária uma validação do sistema em várias regiões, e os estudos ecológicos complementares ainda estejam sendo desenvolvidos para o seu aperfeiçoamento, a estrutura do modelo é disponibilizada nesse trabalho aos técnicos e pesquisadores interessados.

Palavras-chaves: Insecta, entomopatógeno, epizootia, manejo de pragas, sistema integrado.

¹ Eng. Agr., PhD, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia

² Eng. Agr., PhD, Embrapa Soja

1. INTRODUÇÃO

O fungo entomopatogênico *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson é conhecido como agente de controle biológico de lepidópteros, praga de diversas culturas. Existem cerca de 30 espécies de lepidópteros já registradas como suscetíveis ao fungo entomopatogênico *N. rileyi*, com epizootias sobre lagartas verificadas em várias culturas, pastagens e plantas daninhas (Ignoffo et al., 1976). As lagartas da família Noctuidae estão entre as mais sensíveis a este patógeno, e sob certas condições ambientais este fungo é capaz de reduzir drasticamente populações destes insetos nos EUA, Brasil, Argentina e Austrália (Corrêa & Smith 1975, Carner 1980, Ignoffo 1981, Lecuona 1990).

A consistência de ocorrência e os altos índices de controle natural obtidos fazem de *N. rileyi* um candidato promissor aos programas de manejo integrado de pragas. No Brasil, dentre os hospedeiros suscetíveis, destaca-se *Anticarsia gemmatalis* (Hubner), praga importante da cultura de soja (Kogan et al. 1977). A ação de *N. rileyi* pode ocorrer impedindo a população de *A. gemmatalis* de atingir o nível de ano econômico, evitando assim a aplicação de inseticidas contra essa praga.

Nas culturas de soja do centro-sul do Brasil, *N. rileyi* pode causar verdadeiras epizootias em populações de *A. gemmatalis* (Hoffmann et al. 1979, Faria et al., 1993). No entanto, este fenômeno nem sempre ocorre a tempo de evitar que as populações desta praga atinjam o nível de dano econômico (Tigano-Milani et al., 1995).

Os modelos matemáticos que simulam a dinâmica populacional de insetos-praga, e o seu impacto na produção, têm sido largamente utilizados, principalmente em culturas anuais como a soja (Gazzoni et al. 1998, Mishoe et al. 1984, Nagarajan et al. 1994). Um modelo, desenvolvido por Kish & Allen (1978) na a região da Flórida, EUA, simula o impacto da ocorrência natural de *N. rileyi* em populações de *A. gemmatalis*

O presente trabalho teve por objetivo avaliar e adaptar o modelo matemático desenvolvido para a região da Flórida, para realizar simulações de ocorrência de *N. rileyi* em populações de *A. gemmatalis* no Brasil. A partir das limitações observadas no modelo testado foi

proposta a construção de um sistema integrado para todo o sistema planta/inseto/fungo para gerar simulações mais precisas.

2. LEVANTAMENTOS POPULACIONAIS DE *A. GEMMATALIS*

Foram monitoradas populações de lagartas de *A. gemmatalis* nos anos agrícolas de 1996 e 1999, em uma área cultivada de soja (2.500 m²) na região de Planaltina, Distrito Federal, plantada com as seguintes variedades respectivamente: Doko e Celeste. No ano agrícola 1997/1998 foram realizadas amostragens em um campo de soja variedade BR 37 (2.660 m²), em Londrina, PR.

Em 1996, o levantamento foi realizado em intervalos regulares que variaram entre 4 e 7 dias. Durante a amostragem todas as plantas no espaço de 1,0 m de linha plantada foram inspecionadas em relação à presença de lagartas, sendo 10 amostras sorteadas ao acaso, a cada data.

Visando ajustar a entrada de dados e resultados do modelo ao método de amostragem com “pano de batida” (Kogan & Herzog 1980), os levantamentos de populações de lagartas em 1998 e 1999 foram realizados através desse método, na frequência de 2 a 5 dias, durante o ciclo da cultura.

Durante os levantamentos, todas as lagartas sadias e mortas encontradas foram classificadas por classe de tamanho: pequenas (1^o e 2^o instar) e grandes (3^o a 6^o instar). Nesta classificação, as lagartas grandes incluem aquelas consideradas médias e grandes no modelo original. As lagartas mortas por infecção com *N. rileyi* incluíram as mumificadas e as recobertas por micélio ou por conídios do fungo.

Os dados climáticos foram obtidos durante os levantamentos em estações meteorológicas distantes no máximo 5 km do campo experimental.

3. AVALIAÇÃO DO MODELO DE INFECÇÃO DE *A. gemmatalis* POR *N. rileyi* DESENVOLVIDO POR KISH & ALLEN (1978)

O modelo matemático para simular a ocorrência de *N. rileyi* em populações de *A. gemmatalis* na região da Flórida, EUA, desenvolvido por Kish & Allen (1978), é apresentado esquematicamente na Figura 1.

No processo de desenvolvimento do modelo a equação original que ajusta as taxas de infecção da lagarta em função da densidade de inóculo do fungo no ambiente (Ignoffo et al. 1975) foi substituída pelas curvas obtidas de Boucias et al. (1984) e Moscardi et al. (1992) sucessivamente, visando melhorar o ajuste do modelo às observações de campo.

As densidades de lagartas sadias e infectadas obtidas nos levantamentos foram usadas para alimentar o modelo e calcular a proporção de lagartas mortas. O modelo considera um período fixo de 6 dias para o desenvolvimento da infecção. As taxas observadas no campo e simuladas pelo modelo foram comparadas graficamente e através da análise de correlação de Pearson (Kuo et al. 1992).

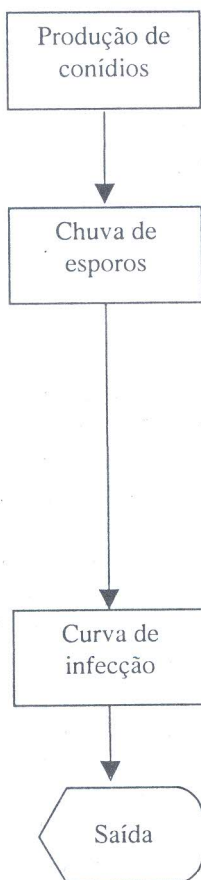
Durante a safra de soja de 1996, as primeiras lagartas infectadas por *N. rileyi* foram observadas em 9 de janeiro, quando a densidade populacional média era de 7,8 lagartas/amostra (0,8 m da linha de plantio). A progressão da taxa de infecção foi mais lenta que o crescimento da população de lagartas, que chegou a atingir o nível de dano econômico antes de 19 de janeiro. Somente após 23 de janeiro as taxas de infecção por *N. rileyi* estiveram acima de 80% (Figura 2).

A simulação resultante do modelo apresentou uma relativa precisão entre os níveis de infecção observados e os previstos (coeficiente de correlação de Pearson $r = 0,752$). No entanto, o modelo superestimou as taxas de infecção no período crítico para o manejo da praga, isto é, de 9 a 19 de janeiro (Figura 3). A substituição da equação para ajustar a curva de infecção pela equação proposta por Moscardi et al. (1992), utilizando isolados brasileiros de *N. rileyi*,

apresentou melhor ajuste às observações de campo e foi incluída no modelo (Figura 4).

No ano agrícola de 1998, na região de Londrina, PR, a população de lagartas não alcançou densidades populacionais que justificassem o seu controle (Figura 5). A ocorrência de um período de 10 dias sem precipitação na segunda quinzena de janeiro parece não ter afetado significativamente a ocorrência da epizootia. Foram observadas no campo taxas de infecção de lagartas pelo fungo acima do que era esperado pela simulação (Figura 6).

Durante o ano agrícola de 1999 as condições de alta pluviosidade bem distribuídas durante os meses dezembro a fevereiro aparentemente impediram o aumento populacional do inseto. A partir de março, a densidade populacional de *A. gemmatalis* aumentou ligeiramente, não atingindo o nível de dano econômico, e foi observado o aumento do número de lagartas infectadas por *N. rileyi* numa curva epizootica (Figura 7). Utilizando o modelo acima proposto, e comparando a simulação gerada pelo modelo com os dados de campo, observou-se a ocorrência de flutuações inconsistentes entre as taxas de infecção observadas no campo e as modeladas (Figura 8). A inconsistência dos resultados obtidos foi atribuída à ausência de informações sobre a biologia do inseto, impacto de variáveis ambientais na dinâmica populacional e interações com a planta hospedeira no processo de simulação do modelo. Dessa forma, foi construído um sistema que considera as informações acima de forma integrada.



$$PC = (LP * 5.6 * 10^8) + (LM * 1.5 * 10^9) + (LG * 3.18 * 10^9)$$

LP = Lagartas pequenas (< 16 X 1.5 mm)

LM = Lagartas médias (< 25 X 2.5 mm)

LG = Lagartas grandes (< 34 X 3.5 mm)

$$CE = (FA) * (UR * PR * VE * UV * FF) * (AF)^{-1}$$

Onde: (CE) = Chuva de esporos (conídios/mm² de área foliar)

(FA) Fator de adesão

(UR) Efeito da umidade relativa

(PR) Efeito da precipitação

(VE) Efeito do vento

(UF) Efeito da radiação ultravioleta

(FF) Fator de perda por falta de cobertura foliar

(AF) Área foliar por hectare em mm²

Após Ignoffo et al. 1976

Proporção esperada de lagartas infectadas após 6 dias

Fig. 1. Modelo proposto por Kish & Allen (1978) para prever a incidência de *Nomuraea rileyi* em populações de *Anticarsia gemmatalis* na soja.

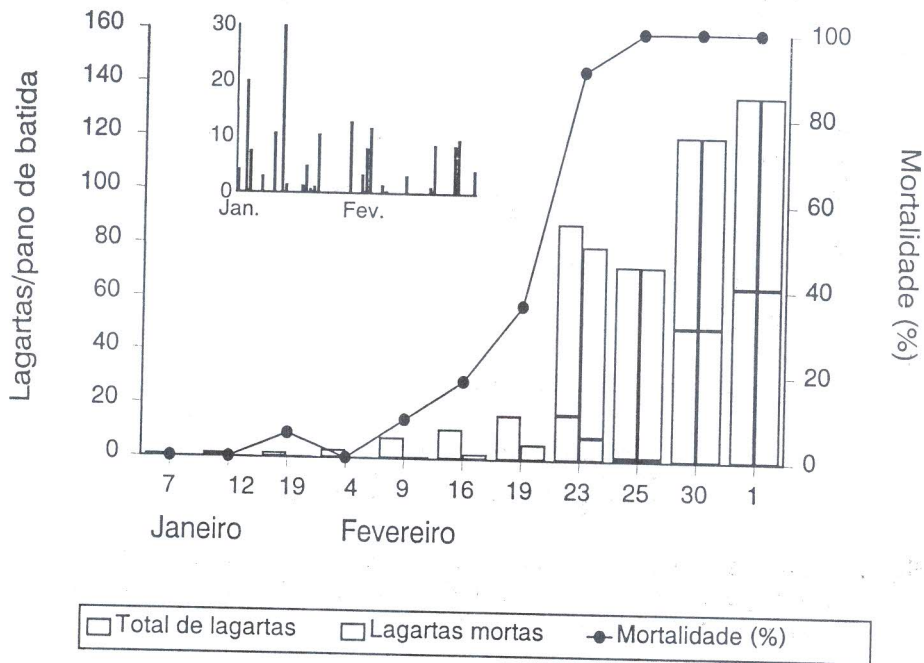


Fig. 2. Flutuação populacional de lagartas de *Anticarsia gemmatalis* em uma área de soja na região do Distrito Federal, em 1996. Lagartas mortas incluem as mumificadas e as recobertas por micélio ou por conídios de *Nomuraea rileyi* na superfície.

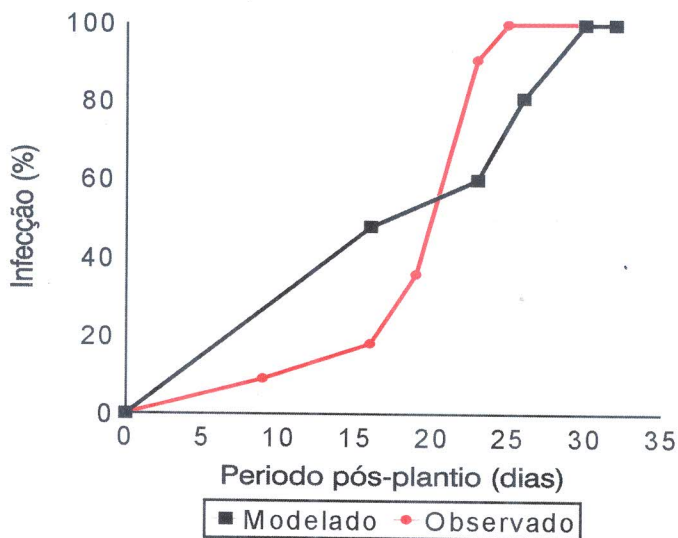


Fig. 3. Taxas de infecção do fungo *Nomuraea rileyi* em lagartas de *Anticarsia gemmatalis* simuladas pelo modelo e observadas no campo na região do Distrito Federal, em 1996.

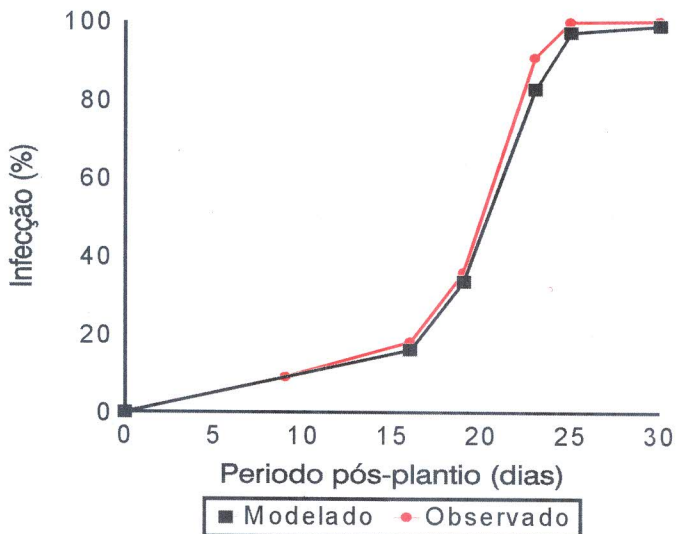


Fig. 4. Taxas de infecção do fungo *Nomuraea rileyi* em lagartas de *Anticarsia gemmatalis* simuladas pelo modelo e observadas no campo na região do Distrito Federal, em 1996, utilizando a curva de infecção proposta por Moscardi et al. (1992).

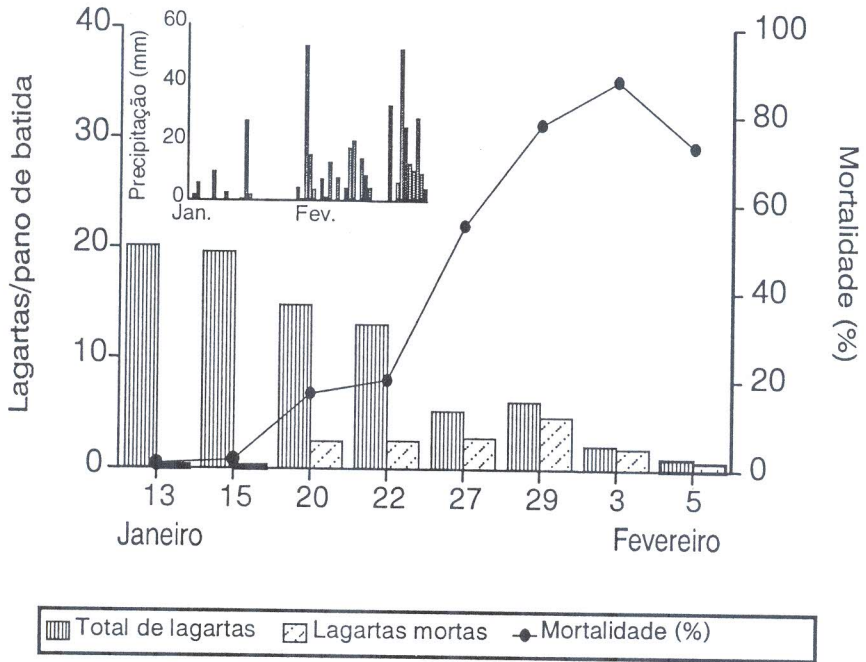


Fig. 5. Flutuação populacional de lagartas de *Anticarsia gemmatalis* em uma área de soja na região de Londrina, PR, em 1998. Lagartas mortas incluem mumificadas, brancas e com conídios de *Nomuraea rileyi* na superfície.

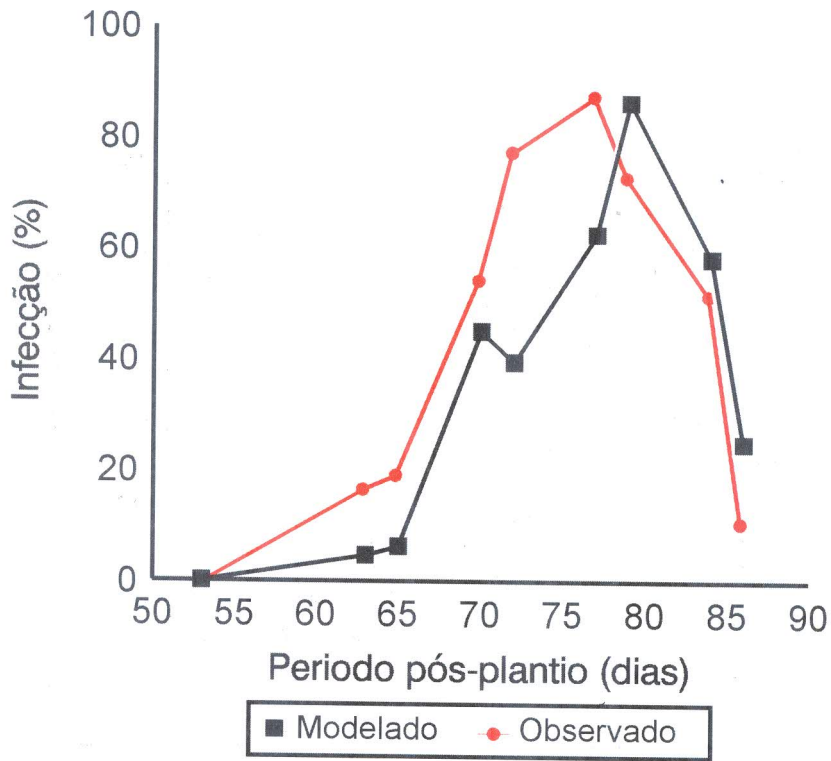


Fig. 6. Taxas de infecção do fungo *Nomuraea rileyi* em lagartas de *Anticarsia gemmatalis* simuladas pelo modelo e observadas no campo na região de Londrina, PR, em 1998.

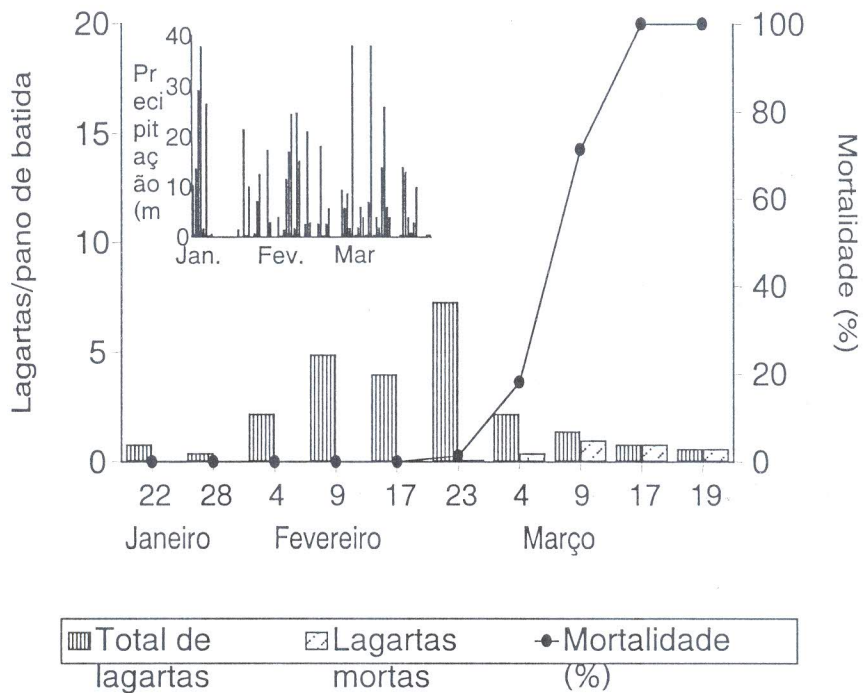


Fig. 7. Flutuação populacional de lagartas de *Anticarsia gemmatalis* em uma área de soja na região do Distrito Federal, em 1999. Lagartas mortas incluem mumificadas, brancas e com conídios de *Nomuraea rileyi* na superfície.

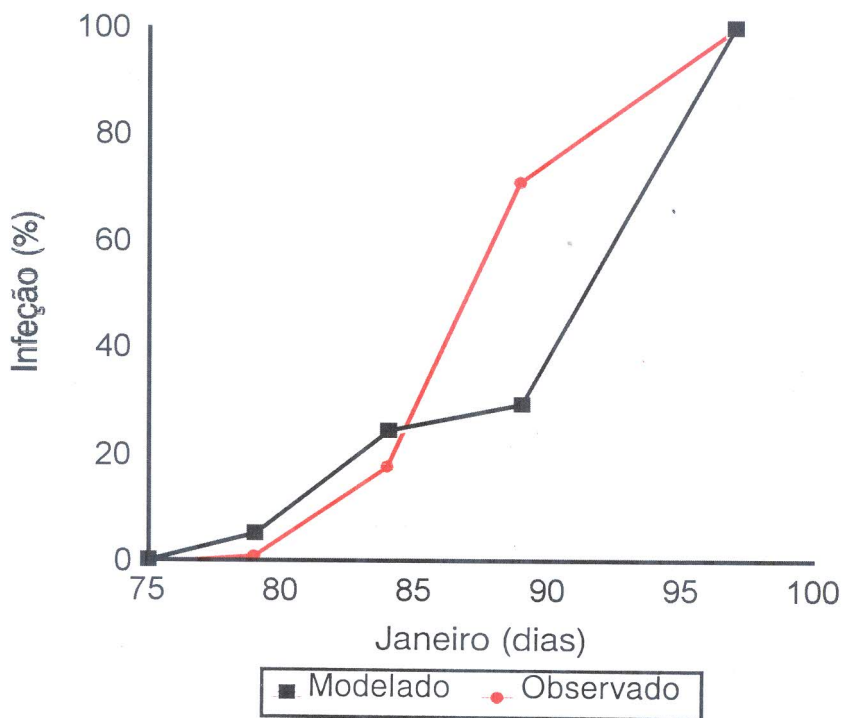


Fig. 8. Taxas de infecção do fungo *Nomuraea rileyi* em lagartas de *Anticarsia gemmatalis* simuladas pelo modelo e observadas no campo na região do Distrito Federal, em 1999.

4. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INTEGRADO PARA SIMULAÇÃO DA DINÂMICA POPULACIONAL DE *A. Gemmatalis* E DA INCIDÊNCIA DE *N. rileyi*

Visando aumentar a precisão do modelo desenvolvido para as condições da Flórida, EUA, informações sobre: fenologia, interação inseto/planta hospedeira e ciclo de vida do inseto foram consideradas na construção de um sistema integrado para simular a dinâmica populacional de *A. gemmatalis* e as infecções causadas pelo fungo.

O monitoramento das populações de lagartas sadias e infectadas ao longo de todo o ciclo da cultura foi importante para determinar o provável fluxo de adultos migrantes após a germinação das sementes, a época de ocorrência e a densidade inicial das lagartas infectadas pelo fungo e a época de densidade máxima de lagartas sadias e infectadas. Estes dados possibilitaram não só a alimentação dos modelos no sistema, como a avaliação das simulações produzidas pelo sistema integrado.

O sistema integrado foi composto de quatro modelos que funcionam de modo interdependente retroalimentando dados e permitindo a entrada de fatores ambientais e características do agroecossistema durante o período da simulação (Figura 9). O sistema foi desenvolvido com base em equações de diferenças que são processadas em computador pelo programa STELLA versão 5.0 Research, como equações diferenciais gerando funções contínuas. Encontra-se, em anexo, a documentação completa do sistema, com a descrição das funções e equações utilizadas.

Os modelos descrevem os seguintes processos:

4.1. Soja e interações inseto-planta

O modelo é baseado na curva de desenvolvimento da área foliar da planta de soja e seus estágios fenológicos que é característico de cada cultivar utilizada. A chegada de adultos migrantes, a mortalidade de lagartas por falta de alimentos e a taxa de produção de ovos pelas fêmeas são influenciadas pelo índice de área foliar e o estágio fenológico da cultura. Assim, as informações sobre a cultivar plantada, data de plantio e espaçamento da cultura devem ser consi-

deradas para as simulações. Este modelo interage com o modelo do ciclo de vida do inseto recebendo informações sobre a população de lagartas em cada estágio, enviando informações sobre o nível de desfolha produzido por estas lagartas e a disponibilidade de recurso alimentar (Figura 10).

4.2. Ciclo de vida e bionomia de *A. gemmatalis*

A quantidade instantânea de indivíduos em cada estágio de desenvolvimento da *A. gemmatalis* é calculada neste modelo segundo a equação geral de diferenças:

$$N_{st} = R_{(s-1)} + S_s - D_s \pm M_s$$

onde: N_{st} = Número de indivíduos no estágio s e tempo t

$R_{(s-1)}$ = Indivíduos recrutados do estágio $s-1$ entre $t-1$ e t

S_s = Indivíduos remanescentes do estágio s no tempo $t-1$

D_s = Indivíduos mortos no estágio s no tempo $t-1$

M_s = Indivíduos migrantes no estágio s entre $t-1$ e t

O ciclo de vida do inseto, com a estrutura populacional por estágio de desenvolvimento e os fatores de mortalidade, é apresentado de modo diagramático na Figura 11. As densidades absolutas de cada população são calculadas a partir da entrada de dados da população inicial, de ovos produzidos pelos adultos migrantes, do efeito da temperatura média, do índice de área foliar no desenvolvimento e da sobrevivência e capacidade reprodutiva dos adultos. Os dados sobre a população de adultos migrantes e índice de área foliar são obtidos pelo modelo de soja e da interação inseto-planta. A temperatura média diária é obtida em uma tabela de dados meteorológicos de um arquivo anexo.

Os dados sobre o ciclo de vida do inseto, o consumo foliar diário pelas lagartas, as taxas de mortalidade e as taxas de fecundidade são aqueles utilizados por Gazzoni et al. (1998), com algumas adaptações de dados locais. (Tabelas 1, 2, 3 e 4). As taxas de fecundidade e eclosão de lagartas e mariposas em função da temperatura média foram ajustadas graficamente por interpolação linear a partir das tabelas propostas por Gazzoni et al. (1998).

As simulações resultantes desse modelo geram as curvas de flutuação populacional dos diferentes estágios de desenvolvimento do inseto.

4.3. Esporulação de *N. rileyi*

A concentração do inóculo primário de *N. rileyi* no campo é informada ao modelo através do monitoramento da população de lagartas no campo. Amostras periódicas, com o auxílio do pano de batida, foram feitas para determinar a data e densidade inicial das lagartas infectadas pelo fungo no campo e o início do processo de desenvolvimento da doença na área.

A quantidade de conídios produzidos diariamente é determinada neste modelo pela distribuição de tamanhos das lagartas mortas por *N. rileyi* (Figura 12).

$$CP = [(LP * 10.3 * e^8) + (LG * 3.18 * e^9)] * (1 * ES^{-1})$$

Onde: CP = Conídios produzidos diariamente
LP = Lagartas pequenas infectadas = (L1 + L2)
LG = Lagartas grandes infectadas = (L3 + L4 + L5 + L6 * 2⁻¹)
ES = Espaçamento da soja

Observações feitas no campo indicam que o processo de esporulação do fungo na superfície do cadáver é afetado por fatores abióticos. Experimentos sobre esporulação *in vivo* de *N. rileyi* em condições de campo e de laboratório estão sendo realizados, no entanto ainda não existem dados confiáveis para serem introduzidos no modelo. Sendo assim, o modelo continua apresentando um período fixo de três dias para a total produção de conídios.

4.4. Infecção e epizootia

Fatores abióticos como precipitação, velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação ultravioleta, afetam a dispersão e a viabilidade dos conídios produzidos sobre os cadáveres, de acordo com a seguinte equação (Kish & Allen 1978):

$$CE = (FA) * (UR * PR * VE * UV * FF) * (AF)^{-1}$$

Onde: (CE) Chuva de esporos (conídios/mm² de área foliar)
(FA) Fator de adesão = 0.9 (10% dos conídios não desprendem do cadáver)

(UR) Efeito da umidade relativa = $(H + 2PA) \cdot 24^{-1}$

H = horas e umidade relativa acima de 8 h

PA = precipitação no dia anterior

(PR) Efeito da precipitação = R (precipitação em mm) * 6.3^{-1} * 0.63

(VE) Efeito do vento = $(1 - (F \cdot 24^{-1}) \cdot 63.13^{-1})$

F = velocidade do vento em m/min

(UF) Efeito da radiação ultravioleta = 0.5 (50% de inviabilidade)

(FF) Fator de perda por falta de cobertura foliar = $1 - 1 \cdot G^{-1}$

G = Índice de área foliar

(AF) Área foliar por hectare em mm²

Esta equação simula a quantidade de conídios que efetivamente é depositada nas folhas e serve como fonte de inóculo para calcular a proporção de lagartas mortas segundo a curva de infecção proposta por Moscardi *et al.* (1992).

$LI = 2,60832 + 1,65613 CE$

Onde: LI = Lagartas infectadas em %

CE = Chuva de esporos (conídios/mm² de área foliar)

As curvas de proporção de insetos infectados e mortos devido à ação de *N. rileyi*, juntamente com as curvas de flutuação populacional geradas pelo modelo de *A. gemmatilis*, são os principais resultados do sistema integrado de simulação (Figura 13).

A simulação resultante da integração dos quatro módulos permite a construção de gráficos que descrevem a flutuação populacional do inseto em cada estágio de desenvolvimento, a área foliar ou o índice de área foliar da planta e as taxas de infecção causadas pelo fungo ou a população de indivíduos mortos por micose durante todo o ciclo da cultura.

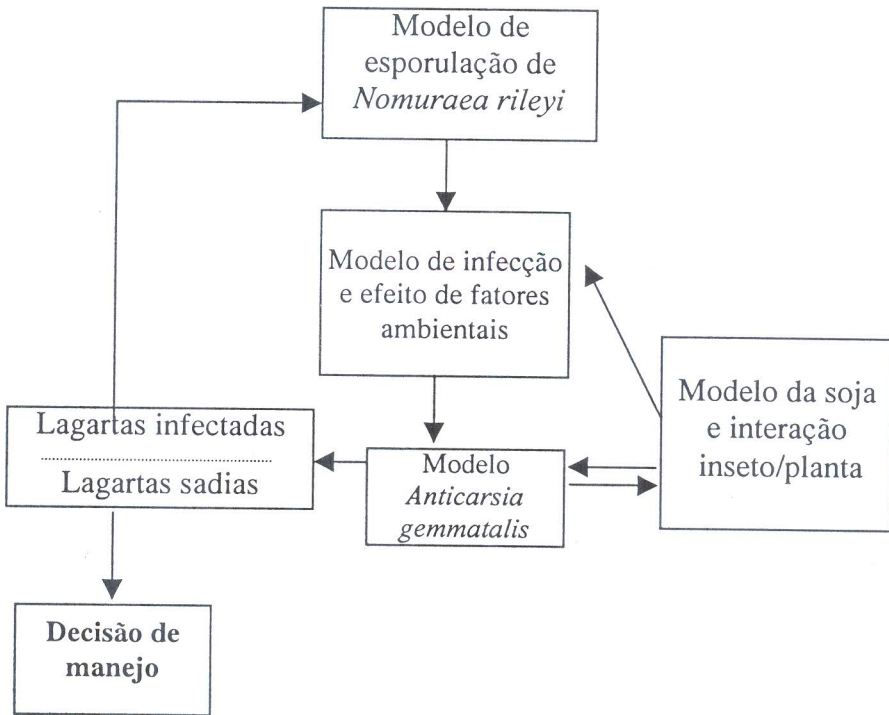


Fig. 9. Estrutura do sistema integrado para simulação da dinâmica populacional de *Anticarsia gemmatalis* e da epizootia provocada pelo fungo *Nomuraea rileyi*. Relação entre os modelos componentes do sistema.

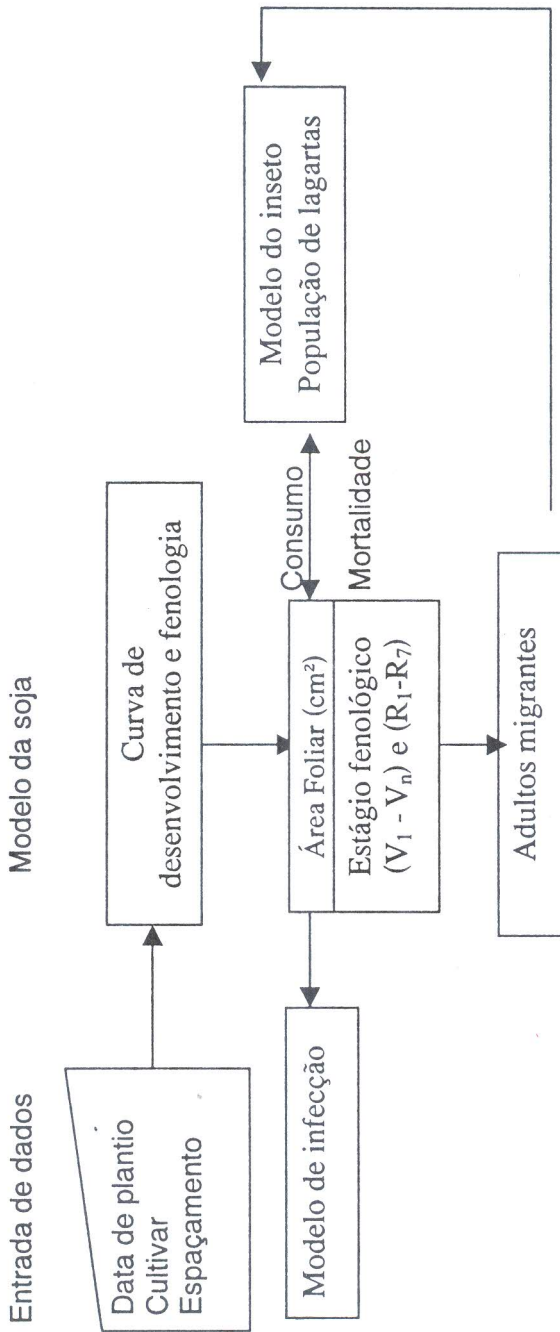


Fig.10. Fluxograma do modelo da soja e sua integração com outros modelos.

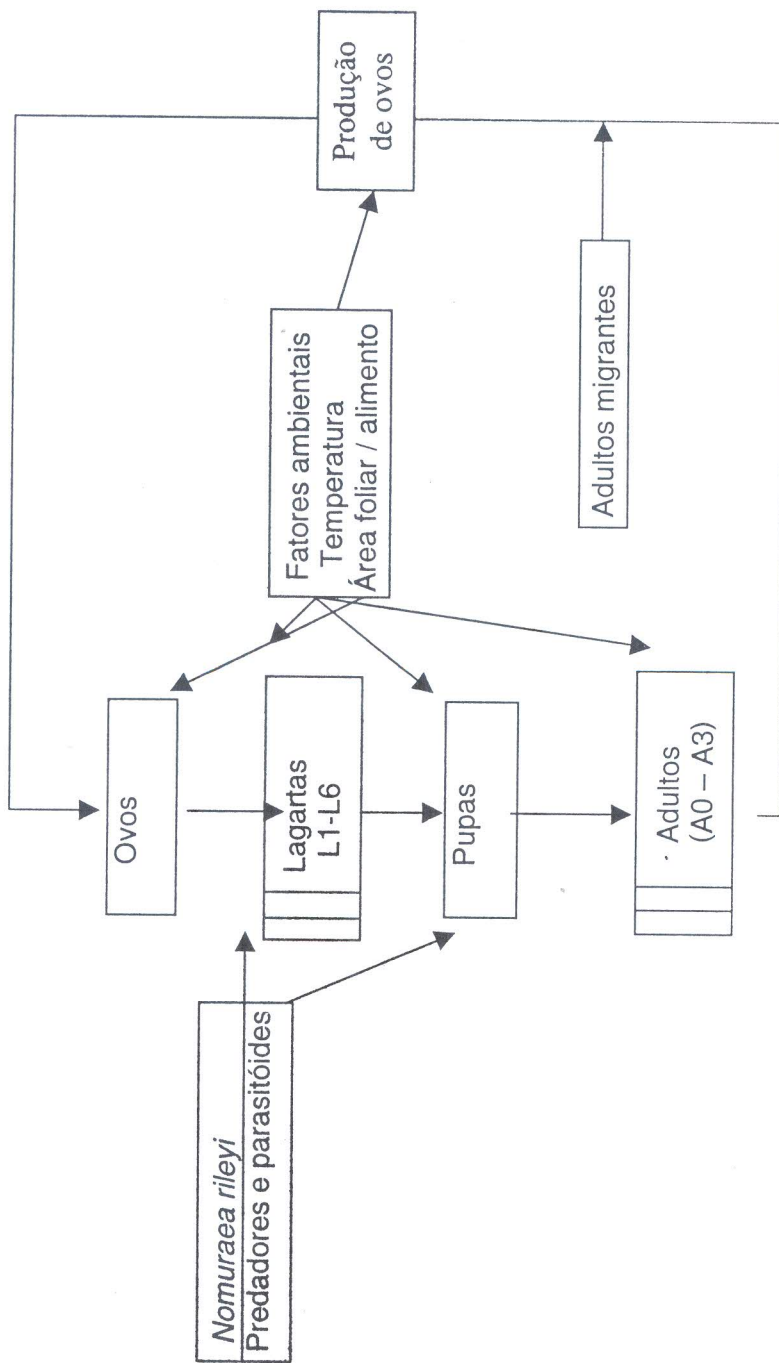


Fig.11. Fluxograma do modelo simulador da dinâmica populacional de *Anticarsia gemmatalis*.

Tabela 1. Ciclo de vida de *Anticarsia gemmatalis*, em dias, a 27°C (modificado de Gazzoni *et al.* 1998).

Fases:	Ovo		Lagarta (instares)						Pupa	Mariposa (estado reprodutivo ¹)				
	1	2	3	4	5	6	6	0	1	2	3	4		
Tempo (dias)	3	1	2	2	2	2	3	10	3	4	4	4	4	

¹ Referente ao desenvolvimento reprodutivo das fêmeas onde 0 = pré-oviposição, 1 e 2 = jovens altamente produtivas, 3 = maduras com produtividade decrescente e 4 = velhas com baixa produtividade.

Tabela 2. Consumo diário (cm²) de folhas de soja por *Anticarsia gemmatalis* (após Gazzoni *et al.* 1998).

	Instar					
	1	2	3	4	5	6
Consumo	0,2	0,4	1,5	4,0	12,3	29,0

Tabela 3. Fatores de perda (%) de indivíduos da população de *Anticarsia gemmatalis* (após Gazzoni *et al.* 1998).

Estágio	Ovo		Lagarta (instares)						Pupa	Mariposa (estado reprodutivo ¹)				
	1	2	3	4	5	6	6	0	1	2	3	4		
Fator														
Inviabilidade natural		4	3	2	1	0	0		5				5	
Predadores	5	20	15	5	2	1	1		35					
Migração													0 a 90	

¹ Refere-se ao estágio reprodutivo das fêmeas, Tabela 1

Tabela 4. Fecundidade de *Anticarsia gemmatalis*, a 27°C, em número de ovos/fêmea/dia (após Gazzoni *et al.* 1998).

	Idade após emergência da mariposa (dias)								
	3	4	5	6	7	8	13	18	20
Ovos	0	0	50	250	200	150	40	20	2

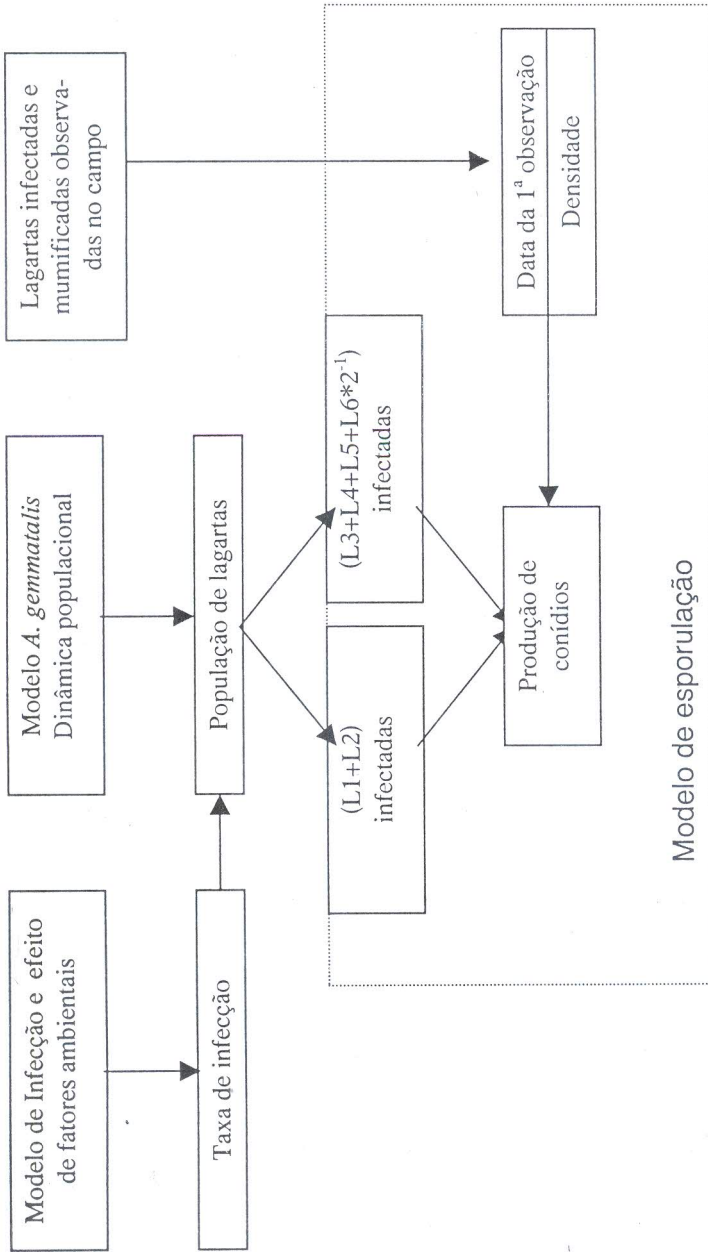


Fig. 12. Diagrama esquemático do modelo de esporulação *in vivo* de *Nomuraea rileyi*, e as interações com outros modelos do sistema.

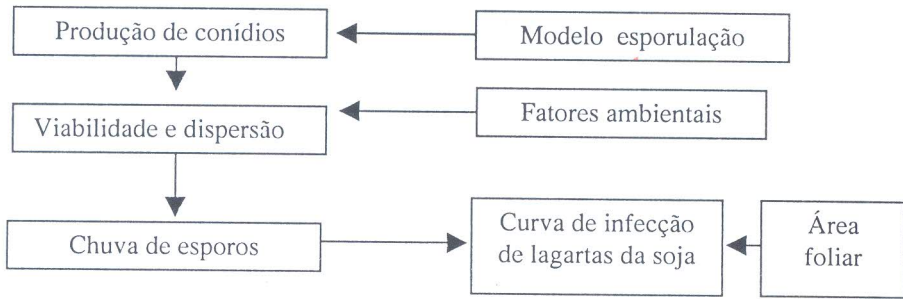


Fig. 13. Fluxograma do modelo de infecção da lagarta e efeito de fatores ambientais na viabilidade e dispersão de conídios de *Nomuraea rileyi* na cultura da soja.

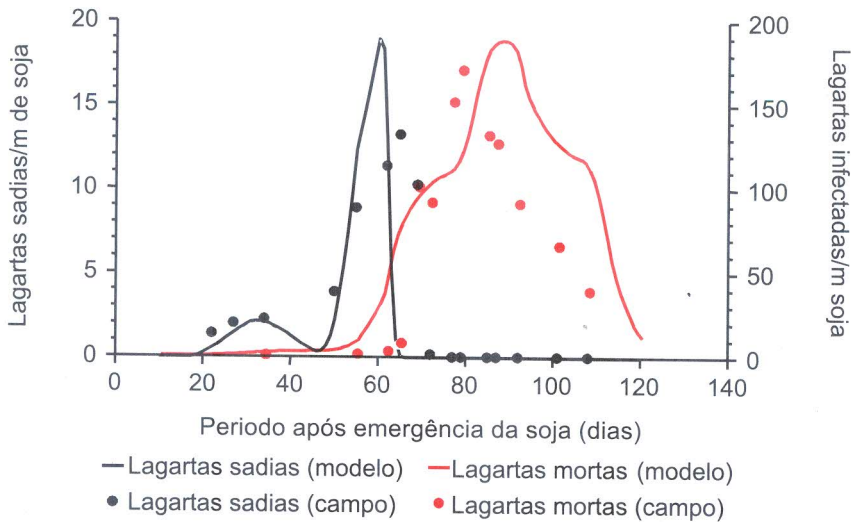


Fig. 14. Comparação entre as densidades populacionais de *Anticarsia gemmatilis* simuladas pelo modelo e as observadas no campo em uma área de soja na região do Distrito Federal em 1996. A curva de lagartas sadias (simulação) X lagartas sadias (observadas no campo) e a de lagartas mortas (simulação) X lagartas mortas (observadas no campo) não diferem significativamente pelo Teste de Kolmogorov Smirnov (M.D. = 0,3; $P > 0,05$ e M.D. = 0,26; $P > 0,05$, respectivamente).

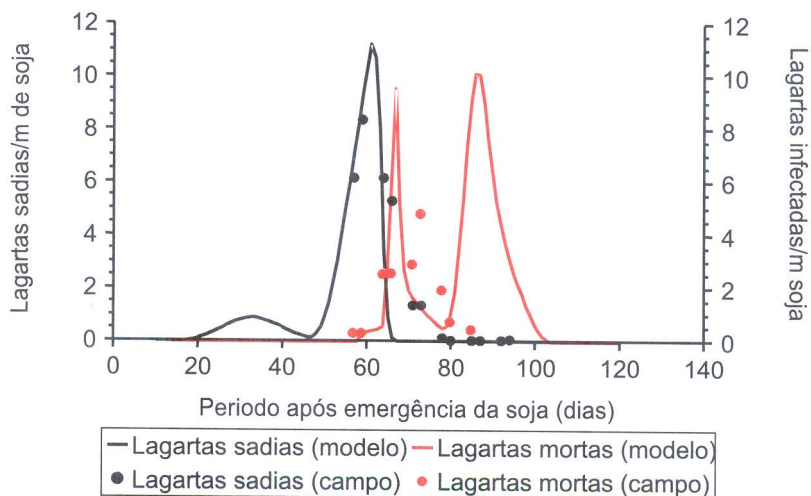


Fig. 15. Comparação entre as densidades populacionais de *Anticarsia gemmatalis* simuladas pelo modelo e observadas no campo em uma área de soja na região de Londrina, PR, em 1998. A curva de lagartas sadias (simulação) X lagartas sadias (observadas no campo) e a de lagartas mortas (simulação) X lagartas mortas (observadas no campo) não diferem significativamente pelo Teste de Kolmogorov Smirnov (M.D. = 0,333; $P > 0,05$ e M.D. = 0,333; $P > 0,05$, respectivamente).

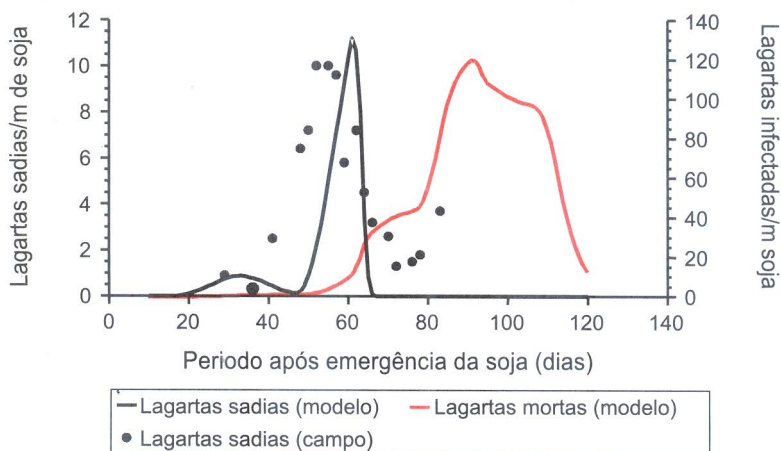


Fig. 16. Comparação entre as densidades populacionais de *Anticarsia gemmatalis* simuladas pelo modelo e observadas no campo em uma área de soja na região do Distrito Federal em 1999. A curva de lagartas sadias (simulação) comparada com as observações de lagartas sadias no campo não difere significativamente pelo Teste de Kolmogorov Smirnov (M.D. = 0,46 $P > 0,05$).

5. AVALIAÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO

Visando avaliar o sistema integrado foram realizadas simulações utilizando os dados climáticos e da dinâmica populacional de *A. gemmatalis* dos anos agrícolas de 1996 (Figura 14) 1998 (Figura 15) e 1999 (Figura 16). Os resultados das simulações foram comparados com levantamentos populacionais realizados nos respectivos anos através do teste de Kolmogorov Smirnov (Wilkinson 1986). Não foram observadas diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as curvas, comprovando que o sistema é capaz de fazer simulações de densidade e fenologia da praga, representando assim uma ferramenta auxiliar no manejo de lagartas de *A. gemmatalis*. As diferenças entre as densidades populacionais simuladas pelo modelo e observadas no campo tanto para lagartas vivas como mortas apresentaram em geral diferenças inferiores a 33% (Figuras 14 e 15). A não ser quando ocorreram condições climáticas atípicas como em 1999 quando houve alta pluviosidade bem distribuída e densidades populacionais extremamente baixas da lagarta. Neste caso a diferença alcançou 46% (Figura 16).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema desenvolvido para simular em computador a ocorrência de *N. rileyi* em populações de *A. gemmatalis*, integrou modelos matemáticos que descrevem a fenologia, o ciclo de vida e as interações lagarta da soja/planta, além dos processos de infecção e esporulação do fungo.

As simulações resultantes do sistema apresentaram em geral um nível de precisão com diferenças inferiores a 33% quando comparadas aos levantamentos populacionais realizados em diferentes anos nas regiões do Brasil-Central (Distrito Federal) e Sul (Norte do Paraná). A ocorrência de chuvas freqüentes como as que ocorreram em 1999 aparentemente afetam a negativamente a dinâmica populacional da lagarta da soja e a capacidade de simulação do modelo. No entanto, a baixa densidade populacional de *A. gemmatalis* observada nesse caso torna desnecessária qualquer medida de controle, não sendo crítico o uso do simulador.

O sistema é capaz de fazer simulações de densidade e fenologia da praga, servindo como uma ferramenta auxiliar no manejo. A partir do monitoramento das condições climáticas e da densidade de lagartas sadias e infectadas é possível traçar simulações com antecedência de uma semana sobre as populações esperadas de lagartas em áreas de soja. No entanto, somente após ajustes através de validações regionais e melhoria na precisão através de estudos complementares sobre a interação inseto/patógeno e o efeito de fatores ambientais, será possível fazer recomendações técnicas gerais ou regionalizadas aos produtores de soja sobre o manejo de *A. gemmatalis* utilizando o controle natural por *N. rileyi*. O sistema será disponibilizado a pesquisadores e técnicos do sistema de extensão interessados em usar o modelo em caráter experimental para validação em diferentes regiões.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUCIAS, D.G.; BRADFORD D.L.; BARFIELD, C.S. Susceptibility of the velvetbean caterpillar cartepillar and soybean looper (Lepidoptera: Noctuidae) to *Nomuraea rileyi*: Effects of patothotype, dosage, temperature and host age. **Environ. Entomol.** v.77,n.1, p.247-253. 1984.
- CARNER, G.R. Sampling pathogens of soybean insect pests, In M. Kogan; D.C. Herzog (ed.), Sampling methods in soybean entomology. New York: Springer-Verlag, 1980.p.559-574.
- CORRÊA, B.S.; SMITH, J.G. *Nomuraea rileyi* attacking the velvetbean caterpillar, *Anticarsia gemmatalis* Hubner, in Paraná. **Fla. Ent.** v.58, p.280. 975.
- FARIA, M.R., TIGANO-MILANI M.S.; LECUONA, R.E. Incidência natural de *Nomuraea rileyi* Farlow em população de *Anticarsia gemmatalis* Hubner no Distrito Federal. **An. Soc. Entomol. Brasil** 22, 385-388. 1993.
- GAZZONI, D.L., PEDROSO JUNIOR, M., GARAGORRY, F., & MOSCARDI, F. Mathematical simulation model of the velvetbean carterpillar. **Pesq. Agropec. Bras.** 33, 385-396: 1998.
- HOFFMANN, C.B., FOERSTER, L.A.; NEWMAN, G.G. Incidência estacional de *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson em *Anticarsia gemmatalis* Hubner 1818 e *Plusia* spp. relacionados com fatores climáticos. Anais do I Semin. Nac. de Pesq. de Soja. Vol. II pág. 11-15. 1979.
- IGNOFFO, C.M. The fungus *Nomuraea rileyi* as a microbial insecticide, p.513-538. In H.D. Burgers (ed.), Microbial control of pests and plant diseases: 1970-1980. London, Academic Press, 949p. 1981
- IGNOFFO, C.M., PUTTLER, B., HOSTETTER, D.L.; DICKERSON, W.A. Susceptibility of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*, and the velvetbean caterpillar, *Anticarsia gemmatalis*, to several isolates

- of the entomopathogenic fungus *Nomuraea rileyi*. **J. Invertebr. Pathol.** 28, 259-262. 1976.
- KISH, L. P., GREENE, G. L.; ALLEN, G. E. A method of determining the number of potential conidia-forming cadavers of *Anticarsia gemmatilis* infected with *Nomuraea rileyi* in a soybean field. **Fla. Entomol.** 59, 103-106. 1976.
- KISH, L.P.; ALLEN, G.E. The biology and ecology of *Nomuraea rileyi* and a program for predicting its incidence on *Anticarsia gemmatilis* in soybean. Univ. Fla. Agric. Exp. Stn. **Tech. Bull.** 795: 1-58. 1978.
- KOGAN, M., TURNIPSEED, S.G., SHEPARD, M., DE OLIVEIRA, E.B.; BORGIO, A. Pilot insect pest management program for soybean in southern Brazil. **J. Econ. Entomol.** 70, 659-663. 1977.
- LECUONA, R.E. El. control microbiano como regulador poblacional de insectos plagas. INTA. Serie **Agricultura Sostenible** 4, 24p. 1990.
- MISHOE, J.W., JONES, J.W., SWANEY, D.P.; WILKERSON, G.G. Using crop and pest models for management applications. **Agricultural Systems** 15, 153-170. 1984.
- MOSCARDI, F., KASTELIC, J.G.; SOSA GÓMEZ, D.R. Suscetibilidade de três espécies de lepidópteros associados à soja a três isolados do fungo *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson. **An. Soc. Entomol. Brasil** 21, 93-100. 1992.
- NAGARAJAN, K., O'NEIL, R.J., EDWARDS, C.R. ;LOWENBERG-DEBOER, J. Indiana soybean system model (ISSM): I Crop model adaptation. **Agricultural Systems** 43, 357-379. 1994.
- TIGANO-MILANI, FARIA, M.R., LECUONA, R.E., SARTORI, M.R., ARIMA, E.Y.; DIAZ, B.M. Análise de patogenicidade e germinação do fungo *Nomuraea rileyi* (Farlow) Samson isolado no Distrito Federal. **An. Soc. Entomol. Brasil** 24, 53-60. 1995.