

In pl. 25.7.95

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA - FEE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS - DENSIS

Este exemplar corresponde à redação final da tese
defendida por M^a CONCEIÇÃO PERES YOUNG PESSOA
_____ e aprovada pela Comissão
Julgadora em 16 / 09 / 94.
J. F. R. F.
Orientador

**"SIMULAÇÃO E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADAS AO ESTUDO DA DINÂMICA
POPULACIONAL DO BICUDO DO ALGODOEIRO NA REGIÃO DE CAMPINAS/SP"**

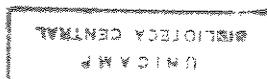
Aluna: Maria Conceição Peres Young Pessoa

Orientador: Prof. Dr. Jurandir F. R. Fernandes
DENSIS/FEE-UNICAMP

Co-Orientador: Prof. Dr. João F.C. Azevedo Meyer
DMA/IMECC-UNICAMP

Tese apresentada a Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção do título de doutor em engenharia elétrica na área
de automação - engenharia de sistemas.

Campinas, 16 de setembro de 1994.



RESUMO

O objetivo desta tese foi criar um simulador com o intuito de analisar a dinâmica populacional do bicudo do algodoeiro, *Anthonomus grandis*, interagindo técnicas de simulação de sistemas e de inteligência artificial.

Desenvolveu-se um programa de computador, capaz de elucidar e fazer boas interpretações de dados de monitoramento coletados em campos de algodão, sujeito aos Programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP). Desse modo, é possível determinar momentos ou períodos críticos, onde a praga pode alcançar o Limiar Econômico e o Nível Econômico de Dano. O programa também indica que tipo de ação pode ser feita para reduzir a população da praga, tais como o uso de inseticida químico seletivo ou a liberação do parasitóide *Bracon*.

O simulador desenvolvido para este trabalho, está apoiado no sistema inseto-planta-meio ambiente encontrados no Brasil (representados pelo Sistema Principal) acoplado a um Sistema Especialista responsável pela decisão de entrada do inseticida seletivo, orientada pelo Programa de Manejo Integrado de Pragas da região. Os fatores bióticos estão apresentados no Sistema Principal através de três modelos matemáticos dinâmicos compartimentais, contendo informações sobre os componentes biológicos (a planta hospedeira, a praga e o parasito), bem como seus respectivos ciclos de vida.

O efeito das condições climáticas no ambiente (fatores abióticos físicos) da praga e da planta foi analisado utilizando-se, como parâmetros, as temperaturas máxima e mínima, diárias, aplicadas ao conceito de Constante Térmica. Precipitações pluviométricas diárias, geradas aleatoriamente, foram utilizadas para calcular o efeito dos níveis de chuva.

O Sistema Especialista está acoplado ao Sistema Principal e está preparado para iniciar sua operação quando o Limiar Econômico for atingido. A máquina de inferência do Sistema Especialista está baseada no Método do Encadeamento Direto e decisão de tomada de ação é diretamente dependente de diferentes informações ambientais (bióticas e abióticas). O Sistema Principal e o Sistema Especialista são conectados um ao outro, seguindo o conceito de "quadro-negro". As questões formuladas pelo Sistema Especialista são respondidas pelo Sistema Principal. A decisão tomada pelo Sistema Especialista é transmitida simultaneamente ao Sistema Principal, dando continuidade à simulação.

O simulador foi elaborado em linguagem C da estação de trabalho SUN-OS (ambiente UNIX).

SUMMARY

The object of the present thesis was to create a simulator in order to analyse the population dynamics of the cotton boll weevil, *Anthonomus grandis*, interacting simulation systems and artificial intelligence techniques. A computer program capable of elucidating and make good interpretation to monitoring data collected in cotton fields subjected to Insect Pest Management (IPM) Programs was developed also.

In this way it would be possible to determine the critical moments or periods in which the pest can reach the Economic Threshold and Economic Injury Levels. Such a program could also indicate what type of action can be undertaken to reduce the population of this pest insect, such as the usage of selective chemical insecticides or the liberation of Braconid parasites.

The simulator developed in this study has two systems: The Brazilian insect-plant-environment system (represented by main system) coupled to the expert system, that is responsible to start selective pesticides uses, oriented by the Insect Pest Management Program.

The environmental biotic factors are presented in the main system by means of three dynamic mathematical models (cohort type), containing detailed informations about the biological components (the host plant, the pest insect and the parasite), as well as the life cycle of each.

The effects of climatic conditions on pest and plant behavior were analysed utilizing, as a parameter, the maximum and minimum daily temperatures applied to the Thermal Constant concept. Daily precipitations generated randomly were utilized to evaluate the effect of rainfall levels.

The expert system is coupled to the main one and is prepared to start operations when the Economic Threshold is reached. The inference machine of the expert system is based on the forward chaining method and the decision is directly dependent on the several environmental informations (biotic and non-biotic). The main and expert systems are connected one to another by means of a "blackboard".

The questions asked by the expert system are answered by the main system. The type of decision taken by the first is simultaneously transmitted to the second, and the simulations goes on.

This simulator was programmed in C-language in a SUN-OS workstation (UNIX environment).

"É preciso sonhar, mas com a condição de crer em nosso sonho; de examinar com atenção a vida real; de confrontar nossa observação com nosso sonho; de realizar escrupulosamente nossa fantasia." (Lenin)

DEDICO

A Deus, por tudo.

A Paulo Maurício, pelo amor , companheirismo e incansáveis incentivos.

À minha mãe, pelo exemplo de vida profissional e determinação que procuro seguir.

A todos os familiares que entenderam minha ausência no convívio normal.

A todos que trabalham e estudam, para que tenham a confiança de que nada se consegue nessa vida sem esforço, perseverança e fé.

AGRADECIMENTOS

A meu orientador, Prof. Dr. Jurandir F.R. Fernandes (DENSIS-FEE/UNICAMP), pela orientação amigável, pela constante boa vontade, por ter aceito o desafio de explorar novas áreas e por me ensinar a encarar o lado difícil da pesquisa de uma forma serena.

A meu co-orientador, Prof. Dr. João F. C. Azevedo Meyer (DMA- IMECC/UNICAMP), pelo acompanhamento e orientação, pela amizade, pelas palavras e ajuda nas horas mais difíceis e pela forma dinâmica, incansável e alegre de trabalhar.

Ao Prof. Dr. Mohamed E. Habib (IB/UNICAMP), pela maneira calma, segura e profissional com que trata a ciência, que me fizeram crescer mais um pouco como gente, e pela paciência em transmitir sua vivência no controle do bicudo do algodoeiro.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, pela liberação para o desenvolvimento de meu tema de tese na UNICAMP, pelo acompanhamento de meu trabalho e oportunidades concedidas posteriormente para terminá-lo no NMA/EMBRAPA.

Aos professores, funcionários e amigos da UNICAMP, em especial ao Departamento de Engenharia de Sistemas- DENSIS/FEE-UNICAMP, pelo ambiente profissional e de amizade, de seus professores, funcionários e colegas. Em particular, a Walcir Fontanini, à Franklina Toledo e a Mauro Hann, pelas dicas de UNIX, "word for windows" e utilização de equipamentos do LAB-DENSIS.

À Seção de Climatologia do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, pelos dados climatológicos diários tão gentilmente cedidos.

Ao pesquisador MSc. Celso Jamil Marur (IAPAR-Londrina/PR), pela disposição em fornecer bibliografias sobre o algodão sem influências de pragas.

Ao pesquisador Dr. José Maria Guzmão Ferraz (CNPMA/EMBRAPA) pelo apoio moral no início deste trabalho.

À Myriam (Zoologia-IB/UNICAMP) e a Edson Sujii (CENARGEN/EMBRAPA), pelas idas ao campo experimental de algodão e pela amizade.

A Eduardo Caputi, Aluizio Takeda (NMA/EMBRAPA) e Paulo I. Minoru (HI-Tecnologia), pelas dúvidas de computação na fase de troca de equipamento e software. À Shirley Soares por informações relativas a padronização das normas bibliográficas, João A. Mangabeira e Renato Zorzenon (NMA/EMBRAPA) pelas dicas. À Nilce Gattaz (CNPMA/EMBRAPA) pelo levantamento de referências bibliográficas.

Ao Prof.Dr. Clóvis Perin Filho (IMECC-UNICAMP), pelas informações e dicas em simulação fornecidas no início deste trabalho.

Aos meus amigos de todas as horas: Maria Fátima Souza, Magda A. de Lima, Cláudia Dezotti, Arminda Moreira de Carvalho, Paulo Minoru, Rodrigo Spanó, Patrícia Benelli, Luiz G. Toledo, Alvaro Rodrigues, Ceres M. Veras de Sandes, ... pela torcida, comentários, sugestões, dicas e apoio.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram no alcance de informações, conhecimento e, principalmente, tranquilidade para o desenvolvimento desta tese...obrigado.

ÍNDICE

	pág
<u>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO</u>	001
1.1- O bicudo na lavoura de algodão e os simuladores existentes para seu monitoramento	002
1.2- Objetivos deste trabalho	006
1.3- Organização do trabalho	009
<u>CAPÍTULO 2: INTERAÇÃO BICUDO-ALGODÃO-MEIO AMBIENTE EM CAMPINAS/SP</u>	010
2.1- Considerações ao inseto e sua planta hospedeira	010
a) O algodão	010
a1) Considerações quanto a morfologia e fisiologia da planta.	011
a2) O algodão plantado na região de Campinas/SP	016
b) O bicudo do algodoeiro	023
2.2- O meio ambiente onde o problema se insere	028
a) Fatores Abióticos	028
a1) Temperatura	028
•) O conceito de Constante Térmica	030
••) Os ciclos do bicudo e do algodão em graus-dia.	031
a2) Pluviosidade	032
b) Fatores Bióticos	033
2.3- Manejo Integrado do bicudo para a região de Campinas/SP	035
<u>CAPÍTULO 3 : MODELAGEM, SIMULAÇÃO E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.</u>	039
3.1- A modelagem de sistemas	040
3.2- Modelagem Matemática	043
a) Modelagem Matemática de sistemas biológicos	048

b) Modelos Matemáticos Clássicos em Dinâmica Populacional	049
c) Modelos Matemáticos Populacionais Compartimentais	055
3.3- Simulação de Sistemas	057
a) Elaboração do Simulador	057
b) Simulação: Vantagens e Desvantagens na sua utilização	059
3.4) Inteligência Artificial	061
a) Sistemas Especialistas	063
b) Sistemas Especialistas Acoplados em Simuladores	066

CAPÍTULO 4: PROJETO DO SIMULADOR. 069

4.1- Análise dos dados quantitativos disponíveis	071
a) Estimativa da população colonizadora de bicudos	071
b) Estimativa da quantidade de bicudos adultos emergentes de frutos verdes	072
c) Estimativa do padrão de comportamento do inseto de acordo com a disponibilidade de recursos alimentares e ambientais (Fases do algodão)	073
d) Estimativa das curvas matemáticas do modelo	075
e) Estimativa dos fatores abióticos da região	080
e1) Pluviosidade	080
•) Distribuição de Bernoulli	082
••) Distribuição Exponencial Negativa	083
e2) Temperatura	087
•) Distribuição Normal	090
4.2- Os modelos matemáticos propostos	092
•) Modelo matemático do bicudo	094
••) Modelo matemático da planta do algodoeiro	096
•••) Modelo matemático do <i>Bracon</i> .	097
4.3- Projeto do Simulador	099

CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES. 122

5.1- Resultados	123
A) Cenário sem a presença do bicudo	123
B) Cenário com a presença do bicudo e sem nenhum tipo de controle da praga.	129
C) Cenário com bicudo e controle por inseticida seletivo	137
D) Cenários com bicudo e controle por parasitismo	146

D1) Entrada de Bracon: 1 de dezembro; Pop_inicial: 0.56.	147
D2) Entrada de Bracon: 1 de dezembro; Pop_inicial: 1.56.	154
D3) Entrada de Bracon: 1 de dezembro; Pop_inicial: 0.05.	161
D4) Entrada de Bracon: 21 de dezembro; Pop_inicial: 1.56.	170
5.2- Conclusões dos resultados obtidos pela simulação	177
<u>CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES GERAIS.</u>	179
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	185
<u>ANEXOS</u>	195

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1:

Fig. 1.1 - Localização da Região de Campinas/SP pg.008

CAPÍTULO 2:

- Fig. 2.1 - Esquema da flor pg.013
- Fig. 2.2 - Esquema do fruto (Fonte: Silveira Neto *et al.*, 1976) pg.014
- Fig. 2.3 - Deiscência do capulho do algodão pg.015
- Fig. 2.4 - Fases do algodoeiro na região de Campinas/SP pg.018
- Fig. 2.5 - Diagrama esquemático dos estágios de desenvolvimento das plantas do algodoeiro (Fonte: Marur, 1980) pg.019
- Fig. 2.6 - Potencial acumulado de botões florais pg.020
- Fig. 2.7 - O adulto do bicudo do algodoeiro (Foto cedida pelo Prof.Dr. Mohamed Habib - IB/UNICAMP) pg.024
- Fig. 2.8 - Fase imatura de desenvolvimento do bicudo (Foto cedida pelo Prof.Dr. Mohamed Habib - IB/UNICAMP) pg.025
- Fig. 2.9 - Ciclo de vida do bicudo do algodoeiro (Fonte dos dados: Gutierrez, 1986) pg.026
- Fig. 2.10- Influência da temperatura nos insetos (Fonte: Gallo *et al.*, 1970 apud Silveira Neto *et al.*, 1976) pg.029
- Fig. 2.11- Temperaturas máxima, mínima e média mensais em Campinas /SP (Fonte dos dados brutos: Seção de Climatologia-IAC/Campinas) pg.030
- Fig. 2.12- Fases de desenvolvimento do bicudo em GD (Fonte dos dados: Gutierrez, 1986; Gutierrez *et al.*, 1991 ab) pg.031
- Fig. 2.13- Fases de desenvolvimento da planta do algodoeiro em GD (Fonte dos dados: Gutierrez *et al.*, 1991 ab) pg.032
- Fig. 2.14- Dados pluviométricos médios mensais de Campinas/SP (Fonte dos dados brutos: Seção de Climatologia-IAC/Campinas) pg.032
- Fig. 2.15- *Bracon vulgaris*: Ectoparasito de larvas do bicudo (Foto cedida pelo Prof.Dr. Mohamed Habib - IB/UNICAMP) pg.034
- Fig. 2.16- Ciclo de vida do *Bracon vulgaris* em Campinas/SP (Fonte dos dados: Pierozzi Jr, 1985; Carvalho *et al.*, 1992) pg.034

CAPÍTULO 3:

Fig. 3.1 - Modelos matemáticos: Elementos e Classificações	pg.044
Fig. 3.2 - Fases envolvidas no processo de modelagem matemática	pg.046
Fig. 3.3 - Modelo de Malhus nos casos: a) $N=M$ (população invariante); b) $N>M$ (crescimento exponencial da população); c) $N<M$ (população decrescente exponencialmente). (Fonte: Bassanezzi et al., 1988)	pg.052
Fig. 3.4 - Curva logística (Fonte: Engel, 1984)	pg.053
Fig. 3.5 - Modelos compartimentais	pg.056
Fig. 3.6 - Fases na elaboração de um simulador (Fonte: Lavelha, 1990))	pg.058
Fig. 3.7 - Métodos de encadeamento direto e reverso	pg.066

CAPÍTULO 4:

Fig. 4.1 - Diagrama global do simulador	pg.070
Fig. 4.2 - Potencial semanal de botões florais	pg.076
Fig. 4.3 - Quantidade média de botões novos observados semanalmente desde o aparecimento do primeiro botão floral	pg.077
Fig. 4.4 - Aceleração potencial imposta ao nascimento de botões florais	pg.079
Fig. 4.5 - Interações existentes entre o bicudo, a planta e o bracon	pg.093
Fig. 4.6 - Entidades do simulador referentes ao bicudo e suas estruturas preferenciais	pg.093
Fig. 4.7 - Principais fatores envolvidos no aumento e na diminuição populacional do bicudo analisados por este trabalho	pg.094
Fig. 4.8 - Principais fatores envolvidos no aumento e/ou diminuição das estruturas frutíferas da planta analisados por este trabalho	pg.096
Fig. 4.9 - Estrutura de dados dos modelos	pg.113
Fig. 4.10-Árvore de decisões do sistema especialista	pg.117

CAPÍTULO 5:

Fig. 5.1.1 - Comparação entre potenciais de botões simulado e teórico (Cenário 1)	pg.125
Fig. 5.1.2 - Perdas de estruturas frutíferas/planta (Cenário 1)	pg.126
Fig. 5.1.3 - Quantidade de estruturas sadias/planta (Cenário 1)	pg.127
Fig. 5.1.4 - Quantidade de botões sadios/planta diferenciados por tipos (Cenário 1)	pg.128
Fig. 5.1.5 - Indivíduos do bicudo (Cenário 2)	pg.133
Fig. 5.1.6 - Fases Imaturas do bicudo em botão (Cenário 2)	pg.133
Fig. 5.1.7 - Fases Imaturas do bicudo em frutos verdes (Cenário 2)	pg.134
Fig. 5.1.8 - Disponibilidade de botões e frutos (Cenário 2)	pg.134

Fig. 5.1.9 - Botões/Planta diferenciados por tamanho (Cenário 2)	pg.135
Fig. 5.1.10-Estruturas frutíferas não sucedidas (Cenário 2)	pg.135
Fig. 5.1.11-Estruturas frutíferas/planta (Cenário 2)	pg.136
Fig. 5.1.12- Estruturas frutíferas disponíveis(Cenário 3)	pg.140
Fig. 5.1.13-Disponibilidade de botões/planta de tamanhos diferenciados (Cenário 3)	pg.141
Fig. 5.1.14-Estruturas frutíferas não sucedidas (Cenário 3)	pg.142
Fig. 5.1.15-Mortalidade de Bicudos (Cenário 3)	pg.143
Fig. 5.1.16-Indivíduos do bicudo (Cenário 3)	pg.143
Fig. 5.1.17-Fases imaturas do bicudo desenvolvendo-se em botões (Cenário 3)	pg.144
Fig. 5.1.18-Fases de desenvolvimento do bicudo em frutos verdes (Cenário 3)	pg.145
Fig. 5.1.19-Estruturas frutíferas disponíveis (Cenário 4)	pg.148
Fig. 5.1.20-Disponibilidade de botões/planta diferenciados por tamanhos (Cenário 4)	pg.148
Fig. 5.1.21-Estruturas não sucedidas (Cenário 4)	pg.149
Fig. 5.1.22-Fases Imaturas do bicudo em botões (Cenário 4)	pg.150
Fig. 5.1.23-Fases Imaturas do bicudo em frutos (Cenário 4)	pg.150
Fig. 5.1.24-Mortalidade de bicudos (Cenário 4)	pg.153
Fig. 5.1.25-Estruturas frutíferas/planta disponíveis (Cenário 5)	pg.155
Fig. 5.1.26-Botões/planta diferenciados por tamanhos (Cenário 5)	pg.156
Fig. 5.1.27-Estruturas/planta não sucedidas (Cenário 5)	pg.156
Fig. 5.1.28-Fases imaturas do bicudo em botões (Cenário 5)	pg.157
Fig. 5.1.29-Fases imaturas do bicudo em frutos (Cenário 5)	pg.158
Fig. 5.1.30-Mortalidade de bicudos (Cenário 5)	pg.158
Fig. 5.1.31-Fases Imaturas do bicudo em botões (Cenário 6)	pg.162
Fig. 5.1.32-Fases Imaturas do bicudo em frutos (Cenário 6)	pg.162
Fig. 5.1.33-Estruturas frutíferas/planta (Cenário 6)	pg.163
Fig. 5.1.34-Botões/planta diferenciados por tamanhos(Cenário 6)	pg.165
Fig. 5.1.35-Estruturas frutíferas não sucedidas (Cenário 6)	pg.165
Fig. 5.1.36-Mortalidade de bicudos no cenário 6	pg.167
Fig. 5.1.37-Indivíduos de bicudo no Cenário 6	pg.167
Fig. 5.1.38-Estruturas frutíferas/planta (Cenário 7)	pg.171
Fig. 5.1.39-Botões/planta diferenciados por tamanhos (Cenário 7)	pg.172
Fig. 5.1.40-Estruturas/planta não sucedidas (Cenário 7)	pg.172
Fig. 5.1.41-Fases imaturas do bicudo em botões (Cenário 7)	pg.174
Fig. 5.1.42-Fases imaturas em frutos (Cenário 7)	pg.175
Fig. 5.1.43-Mortalidade de bicudos (Cenário 7)	pg.175



LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2:

Tabela 2.1 - Principais pragas do algodoeiro pg.021

CAPÍTULO 3:

Tabela 3.1 - Modelos matemáticos clássicos em dinâmica populacional pg.049

Tabela 3.2 - Trabalhos que contribuíram a aplicação de IA pg.068

CAPÍTULO 4:

Tabela 4.1 - Número de bicudos em frutos verdes de acordo com a idade da planta pg.073

Tabela 4.2 - Porcentagem de dias no mês com incidência ou não de chuva pg.081

Tabela 4.3 - Porcentagens pluviométricas mensais em Campinas/SP pg.081

Tabela 4.4 - Parâmetros mensais das distribuições de Probabilidade pg.086

Tabela 4.5 - Temperaturas máxima e mínima mensais registradas no período de 1982-1989 em Campinas/SP (valores em graus Celsius) pg.088

Tabela 4.6 - Faixas de frequência absoluta de temperatura mínima em Campinas/SP pg.089

Tabela 4.7 - Faixas de frequência absoluta de temperatura máxima em Campinas/SP pg.090

Tabela 4.8 - Parâmetros das distribuições normal(μ, σ) para temperaturas máximas e mínimas em Campinas pg.092

CAPÍTULO 5:

Tabela 5.1 - Resultados obtidos pela simulação da lavoura sem bicudo (Cenário 1) pg.124

Tabela 5.2 - Resultados obtidos para a planta na simulação da lavoura com bicudo e sem controle (Cenário 2) pg.131

Tabela 5.3 - Resultados obtidos para o bicudo na simulação do Cenário 2 pg.132

Tabela 5.4 - Resultados obtidos para a planta na simulação do Cenário 3	pg.138
Tabela 5.5 - Resultados obtidos para o bicudo na simulação do Cenário 3	pg.139
Tabela 5.6 - Resultados obtidos para a planta na simulação do Cenário 4	pg.147
Tabela 5.7 - Resultados obtidos para o bicudo no Cenário 4	pg.151
Tabela 5.8 - Parasitismo de bracon em larvas do bicudo no Cenário 4	pg.152
Tabela 5.9 - Resultados obtidos para a planta no Cenário 5	pg.154
Tabela 5.10 - O bicudo na simulação do Cenário 5	pg.159
Tabela 5.11 - Parasitismo de bracon em larvas do bicudo (Cenário 5)	pg.160
Tabela 5.12 - Resultados obtidos para a planta no Cenário 6	pg.164
Tabela 5.13 - O bicudo na simulação do Cenário 6	pg.166
Tabela 5.14 - Parasitismo de bracon em larvas do bicudo no Cenário 6	pg.168
Tabela 5.15 - Resultados obtidos para a planta no Cenário 7	pg.170
Tabela 5.16 - O bicudo na simulação do Cenário 7	pg.173
Tabela 5.17 - Parasitismo de bracon em larvas do bicudo	pg.176



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A eficiência da simulação de sistemas como uma metodologia auxiliar na análise de cenários alternativos e na redução de despesas operacionais de amostragens torna-se cada vez mais difundida, a medida que surgem novas gerações de computadores associando qualidade e rapidez à custos acessíveis.

Até mesmo na população em geral, o termo simulação foi tornando-se cada vez mais difundido, principalmente através dos simuladores de vôos, video-games, previsões meteorológicas, etc. . No entanto, é na área de pesquisa, onde muitas vezes associada a outras técnicas, que a simulação vem permitindo maior agilidade nas operações e cálculos fundamentais, bem como na visualização espacial de objetos nos mais diversos ângulos, contribuindo a um grande nível de detalhamento no acompanhamento de fenômenos, no direcionamento de pesquisas em andamento e, em casos mais avançados, na previsão do comportamento de um determinado sistema em estudo.

Sabe-se que experimentos reais mesmo quando criteriosamente planejados, usualmente apresentam falhas na previsão de problemas. Em decorrência, geralmente, provocam prejuízos materiais e atrasos, dada a necessidade de reiniciar o processo em estudo.

Neste contexto, a simulação de sistemas tem sido uma técnica amplamente utilizada. Nela, modelos são formulados com base na verificação dos aspectos mais importantes do sistema real, reproduzindo seu funcionamento e permitindo a investigação de fenômenos, a ela ligados, através da observação das atividades de seus elementos e de suas interações (Gordon, 1975).

A natureza do sistema e, principalmente, a necessidade de obtenção de resultados detalhados e precisos, tornam-se os pontos principais na escolha do tipo de modelo que melhor represente o problema (Forrester, 1961; Gordon, 1975).

Informações quantitativas bem conduzidas sobre os principais componentes do modelo permitem o entendimento de seu funcionamento e uma simulação mais próxima da realidade. Muitas vezes, fatores identificados através da própria simulação induzem à necessidade de maiores informações sobre alguns de seus componentes principais. Dessa forma, a partir de versões anteriores, algumas apresentadas em situações extremamente simplificadas, novos modelos mais aperfeiçoados vão surgindo.

Dentro desta filosofia, a simulação de sistemas envolve um amplo espectro de aplicações, principalmente onde torna-se possível a interdisciplinaridade da equipe que dela se utilizará. Assim sendo, esta técnica, antes restrita às áreas de matemática aplicada ou engenharia, vem ampliando

consideravelmente sua gama de aplicações. Por exemplo: a elaboração de modelos que representem as diversas situações encontradas nos fatores que envolvem o ser vivo.

Questões prioritárias como o incentivo à obtenção de maior qualidade e produtividade sem a degradação do meio ambiente, encontram uma forte aliada na utilização da simulação como tentativa de acompanhar o funcionamento de sistemas agropecuários, por exemplo, visando a obtenção de informações sobre a integração entre seus elementos e seus efeitos resultantes.

Fortemente dependente de alguns recursos naturais, tais como, clima, fauna, flora, solo, topografia e do próprio homem, entre outros, a agricultura desenvolve-se em um meio natural complexo e dinâmico, cujo monitoramento de seus fatores (variações e intensidades) são altamente importantes para seu bom desenvolvimento e aprimoramento.

Neste contexto, o uso de simulação na área de pesquisa agropecuária permitiria ao pesquisador posicionar-se como um "experimentador" do sistema real operando, contudo, somente um modelo desse sistema (seus fatores em estudo são priorizados), mas permitindo-se muito mais observações e medidas, quando comparadas às obtidas pelo experimento laboratorial ou de campo.

Embora no Brasil esse procedimento ainda não esteja muito difundido entre profissionais dessa área, pesquisadores norte-americanos vêm fazendo uso deste ferramental desde meados de 1970, contando com incentivos governamentais.

1.1. O BICUDO NA LAVOURA DE ALGODÃO E OS SIMULADORES EXISTENTES PARA SEU MONITORAMENTO

Dentre as conhecidas aplicações da simulação em pesquisa agropecuária, ressalta-se a preocupação com a interação inseto-planta-meio ambiente em culturas de importância econômica.

Entre tais culturas, o algodão sofreu intenso ataque do inseto fitófago bicudo (*Anthonomus grandis* Boheman), acarretando perdas incalculáveis de safra. Esta praga, identificada em 1843 pelo naturalista sueco Boheman, foi e continua sendo amplamente pesquisada (mais de 100 anos de informações nos EUA), visto os estragos consideráveis que acarreta no algodoeiro quando em níveis populacionais significantes.

A formulação de modelos matemáticos e simuladores vem sendo apresentada durante as últimas três décadas, e continuamente aperfeiçoada ao longo dos últimos 20 anos nos Estados Unidos, visando estudos de desenvolvimento da planta do algodoeiro e de suas principais pragas.

Os primeiros modelos desenvolvidos para simulação do crescimento do algodoeiro (Stapleton, 1970; Stapleton *et al.*, 1973) visavam estudar os efeitos de desenhos alternativos de maquinárias no campo de algodão.

Concomitantemente desenvolvia-se o SIMCOT ("Simulation of Cotton Growth") (Duncan *et al.*, 1971), visando calcular a produção e distribuição diária de fotossíntese como fator de desenvolvimento da planta do algodão e, um modelo mais simples (Wilson *et al.*, 1972) onde simulando-se um único padrão de frutificação, possibilitava-se ajustar parametricamente taxas de frutificações, visando a simulação de diferentes variedades de algodão em ambientes diversos.

Uma nova versão do SIMCOT (Mc Kinion *et al.*, 1974, 1975) foi desenvolvida. Nela, novos fatores importantes ao crescimento e à maturação da planta do algodoeiro, tais como localização e condições de aparecimento de cada ponto de frutificação na planta foram introduzidos.

Entendida a contribuição desses modelos à compreensão da dinâmica de crescimento da planta, versões cada vez mais próximas à realidade do campo foram apresentadas posteriormente.

Em 1974, modifica-se novamente o SIMCOT (Gutierrez *et al.*, 1975) a fim de permitir-se a simulação do meio ambiente da Califórnia e de outras variedades de algodão. Nesta nova apresentação, estimava-se o total de frutos na plantação através da média de frutos encontrados em uma única planta de algodão.

Estando o modelo do algodão bem fundamentado, versões posteriores acrescentaram as principais pragas dessa cultura.

Gutierrez *et al.* (1975; 1977ab) incorporaram modelos de insetos-pragas do algodoeiro dos EUA, tais como desfoliadores (*Spodoptera exigua* Hubner e *Trichoplusia ni* Hubner) e destruidores de frutos (*Lygus hesperus* Knight, *Heliothis spp* e *Pectinophora gossypiella* Saunders), permitindo o estudo da interação existente entre a planta e seus inimigos naturais.

No mesmo período outro modelo tornava-se público (Jones, 1975; Jones *et al.*, 1977), detalhando a influência da temperatura, status da plantação e práticas de manejo na população do bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boheman). Este modelo, posteriormente associado às modificações do SIMCOT (Jones *et al.*, 1980) e a modelos desenvolvidos para outras pragas do algodoeiro, foi utilizado para estudar diferentes estratégias de manejo de pragas (Brown *et al.*, 1979).

A inclusão das técnicas de Manejo de Pragas, enfatizadas no parágrafo anterior, também aparecem nos modelos contínuos de simulação apresentados por Brown *et al.* (1976) e Gutierrez *et al.* (1977), onde incluía-se a alimentação do bicudo em botões florais e frutos verdes como causa de danos a estas estruturas.

O modelo denominado COTCROP ("Cotton crop component model"), desenvolvido por uma equipe multi-disciplinar composta de engenheiros, fisiologistas vegetais, economistas e entomologistas (Jones *et al.*, 1980; Brown *et al.*, 1982) apresentava como principal objetivo o estudo do inseto e de novas estratégias de manejo, incorporando-se fatores agronômicos como irrigação e fertilização de nitrogênio aos modelos anteriores.

Posteriormente, o COTCROP foi modificado e integrado dentro de um sistema denominado CIM ("Cotton and insect management simulation model"), incorporando uma rotina de análise de sensibilidade variando-se certos parâmetros do modelo (Hartstack *et al.*, 1983; Brown *et al.*, 1983).

O nível de detalhamento fundamentado em pesquisas orientadas por lacunas em modelos anteriores, permitiu o aparecimento de versões cada vez mais fidedignas da realidade.

Também no início da década de 80, desenvolveu-se outro modelo (Curry *et al.*, 1980) referenciando a mortalidade natural e induzida do bicudo no campo. Nele calculava-se a penetração de luz na plantação a fim de tentar medir-se, mais detalhadamente, o micro-clima onde a fase imatura do inseto desenvolve-se (dentro do botão floral ou fruto verde do algodão). Os danos causados à planta baseavam-se na quantidade de adultos presentes no campo e permitiam uma previsão de produção.

Neste mesmo período, surgia o TEXCIM ("Texas Cotton Insect Model"), criado para auxiliar os agricultores na tomada de decisão de manejo da plantação (Legaspi *et al.*, 1989).

No aparecimento de cada modelo percebe-se a preocupação de avançar ao encontro de uma metodologia que permita representar, com o menor erro possível, a situação encontrada na lavoura e, conseqüentemente, a solução para auxiliar na diminuição dos danos acarretados pelas pragas nela existentes, principalmente o bicudo.

Deve-se tal fato, principalmente, à grande quantidade de informações ecológicas, entomológicas e fisiológicas da planta hospedeira estarem amplamente documentadas naquele país (Curry *et al.* 1980; Hearn *et al.*, 1984; Stimac *et al.* 1985; Stone *et al.*, 1990, entre outros), permitindo a compreensão do complexo ecológico onde o sistema se insere e o aperfeiçoamento dos modelos já existentes.

No Brasil, o bicudo foi detectado pela primeira vez em fevereiro de 1983 no Município de Campinas/SP (Habib & Fernandes, 1983). Na mesma ocasião, o Prof. Nakano (ESALQ-USP/Piracicaba), descobriu a ocorrência da mesma praga (Degrande, 1991) em áreas de estudo próximas a Piracicaba. Em julho do mesmo ano a praga já aparecia em algodoais de Campina Grande/PB e em Pernambuco (Gabriel, 1984 *apud* Degrande, 1991).

A crescente diminuição da área plantada com esta monocultura em todo o Brasil, provocada pelas altas taxas de juros impostas pelo governo nos últimos anos, e pelas necessidades de gastos adicionais com o controle do bicudo, geraram graves problemas não só de ordem econômica, mas sociais.

Responsabilizando-se pela contratação de milhares de pessoas, tanto no trato direto com a cultura como no processo de industrialização, o impacto negativo gerado pelo aparecimento do bicudo nesta cultura foi alarmante.

Especialmente na Região Nordeste do Brasil, onde as condições climáticas e morfoedológicas não propiciam grande gama de

alternativas para diversificar a produção local, o algodão contitua-se a principal fonte econômica e empregatícia.

Devido à localização geográfica dos algodoads inicialmente infestado pelo bicudo (geralmente próximos a aeroportos) suspeita-se de ação humana como principal fator de contribuição ao aparecimento da praga no Brasil. Desde então, as áreas inicialmente infestadas vêm expandindo-se e consequentemente desestimulando o cultivo de algodão (Nakano *apud* Degrande, 1991).

No Estado de São Paulo, por exemplo, percebe-se claramente a evolução das áreas infestadas pelo bicudo, acompanhando-se os mapas do Instituto Biológico (DPV/SPRI).

Através desses mapas, constata-se que atualmente a área infestada concentra-se na parte central do Estado de São Paulo. Verifica-se também que a partir dos focos de infestação iniciais, a evolução da praga deu-se de forma crescente ano a ano.

Nos últimos anos esta infestação atingiu 350 Municípios do Estado, cerca de 220.000 hectares plantados (Safr de 1991/1992) nas regiões de Bauru, Campinas, Marília, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Sorocaba e Araçatuba (SAA/CATI-DEXTRU-CTPV, 1992). Como resultado, muitos produtores, desestimulados com os prejuízos associados ao cultivo e aos baixos preços alcançados com o produto, fizeram surgir no local do algodão, plantações de cana-de-açúcar e laranja, mais atrativas financeiramente.

Tratando-se de uma praga exótica no ano de seu aparecimento no Brasil (safra de 1982/1983), nada era conhecido sobre seu comportamento neste novo ambiente onde recém instalara-se.

Tal preocupação estimulou vários estudos laboratoriais e de campo sobre o inseto, principalmente a nível de determinação de suas fases de desenvolvimento, processos de reprodução, preferências alimentares, seus inimigos naturais etc., que permitiram descrições seguras a respeito da interação do inseto com sua planta hospedeira e com o meio ambiente.

Através desses trabalhos, reavaliaram-se opções iniciais de controle utilizadas na presença da praga, mesmo em baixos níveis populacionais, cujos efeitos muitas vezes tornavam-se nocivos não só ao inseto como ao homem e ao meio ambiente, além de economicamente dispendiosos.

Na tentativa de diminuição das perdas econômicas e de garantir-se um produto final de excelência, vários estudiosos propuseram medidas visando controlar a infestação (Habib *et al.*, 1984; Nakano, 1984, Pierozzi Jr., 1985, 1989; Cruz, 1986;).

Dentre as medidas propostas, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) para o bicudo do algodoeiro instalado na Região de Campinas/SP vem sendo constantemente aperfeiçoado desde então, sendo considerado o principal responsável pela redução do número de aplicações de inseticidas utilizados no controle populacional da praga.

No Manejo Integrado de Pragas (MIP), o eixo principal do programa, o controle biológico, é associado a outras técnicas (culturais e de controle químico) compatíveis ao programa na tentativa de um controle eficiente, econômico e ecologicamente viável.

Assim, a medida adotada e o momento de entrar em ação dependem da densidade populacional do bicudo neste instante. Dessa forma, o MIP do bicudo para a Região de Campinas/SP leva em consideração para a determinação desse momento de agir, características ecológicas, econômicas, sociais e culturais da região. Tal momento de agir recebe o nome de LIMIAR ECONÔMICO (LE). Este índice, na verdade, informa ao produtor se a população da praga já atingiu níveis elevados, necessitando ser reduzida imediatamente para o não comprometimento da produção.

Graças à utilização dessas técnicas o produtor convive com a praga em níveis populacionais aceitáveis, reduzindo o número de aplicações de inseticidas e, conseqüentemente, os danos ao meio ambiente.

Dentre as propostas de MIP elaboradas para a região de Campinas/SP, a utilizada por Pierozzi Jr. (1985, 1989) já se encontra bem documentada. Nela, o uso de inseticida não é descartado para a redução da população de adultos do bicudo a níveis populacionais aceitáveis, exigindo-se porém, a seletividade do produto.

A disponibilidade de uma ferramenta computacional auxiliar que permitisse acompanhar o nível populacional da praga indicando a hora provável de entrar em ação com técnicas orientadas pelo MIP seria de extrema valia no acompanhamento de fenômenos, muitas vezes imperceptíveis.

Encontra-se na literatura a tentativa de aproximação dos modelos americanos para o ambiente brasileiro (Gutierrez *et al.*, 1984) utilizando a variedade de algodão IAC-17. Posteriormente, Gutierrez *et al.* (1991 a,b) apresentam novas informações e parâmetros para a utilização de comparações entre diferentes variedades de algodão.

1.2. OBJETIVOS DESTE TRABALHO

O conhecimento sobre o bicudo, algodão e o meio ambiente na Região de Campinas, bem como as interações existentes entre si encontram-se bem documentadas, permitindo o acesso a dados quali-quantitativos que especifiquem esse sistema e a sua modelagem matemática com vistas à simulação numérica.

Através da simulação de um algodoal e da presença da praga nesta monocultura, permitiria-se o monitoramento diário da população do bicudo, e conseqüentemente, das ações orientadas pelo MIP para a Região de Campinas bem como, uma análise cuidadosa de situações imperceptíveis em idas semanais a campo para amostragens, visando orientação a novas linhas de pesquisas futuras.

É sabido que, atualmente, as regras de MIP indicadas para o bicudo instalado na Região de Campinas restringem-se a técnicas de controle cultural (variedades precoces, culturas iscas, destruição de restos culturais, catação de botões e frutos verdes pequenos caídos ao solo, rotação de cultura etc.) e a técnicas de controle químico (indicadores de níveis de controle; uso de inseticidas (seletivos ou não), etc.). Vê-se que o uso de inseticida não é descartado, sendo indispensável na redução imediata de adultos. Entretanto, um estudo de outras alternativas, como o controle biológico aplicado da praga, poderia ser avaliado quando encontrada em níveis populacionais inferiores ao estabelecido pelo MIP (limiar econômico de danos entre 5-7% de estruturas frutíferas atacadas) da Região de Campinas. Uma forma conveniente de viabilizar tal estudo, seria anexar às técnicas de simulação de sistemas conceitos de Inteligência Artificial.

Os conceitos de Inteligência Artificial vem sendo incorporados a simuladores no intuito de aumentar a rapidez no tempo de resposta de processamento, evitando-se alternativas ineficientes para a solução do problema. Sua filosofia consiste em projetar sistemas que, para certas áreas limitadas, emulam algumas características do pensamento humano- aprendizado, tomada de decisão, resolução de problemas etc. (Costa, 1991; Guimarães, 1992).

Assim sendo, tentando-se simular a lógica do pensamento humano, isto é, sua forma de armazenamento, organização e recuperação do conhecimento adquirido, estes sistemas vêm sendo utilizados cada vez mais em apoio à tomada de decisões.

Entre as técnicas de I.A., os SISTEMAS ESPECIALISTAS (SE) são projetados para compilar a experiência de vários especialistas num dado assunto, em uma série de regras, as quais são utilizadas para propiciar inferências e sugerir ao usuário (ou executar automaticamente) um rumo ou ação, diante de uma dada situação no domínio do sistema (Levine, 1988; Schildt, 1989).

Esta tese tem por objetivo principal a elaboração de um simulador específico, apoiado no sistema inseto-planta-meio ambiente com a maior quantidade possível de dados levantados no Brasil, acoplado a um Sistema Especialista com os inseticidas seletivos e suas regras de utilização definidas pelo MIP para a região de Campinas/SP (Fig. 1.1). A capacidade de adaptação do inseto a fatores abióticos (temperatura, pluviosidade) e a fatores bióticos (inimigos naturais presentes o ano todo e em maior número), além das já referidas técnicas de Manejo Integrado de Pragas sugeridas para a região, podem ser amplamente analisadas sem o acúmulo de erros advindos da utilização de simuladores elaborados para outros países. Permite também, a análise dos efeitos de inimigos naturais promissores ao controle biológico natural do bicudo do algodoeiro, como o *Bracon vulgaris*, por exemplo.

Ressalta-se ainda que para alcançar os objetivos a que se propõe, não se buscou nesta tese o uso de linguagens específicas para simuladores que, além de encarecerem sua utilização, limitariam as representações de variáveis relevantes ao sistema em estudo.

Esta versão foi elaborada em linguagem de programação C, utilizada em estação de trabalho SUN (Ambiente UNIX), podendo ser modificada para linguagem C de micros-computadores tipo PC-AT futuramente.

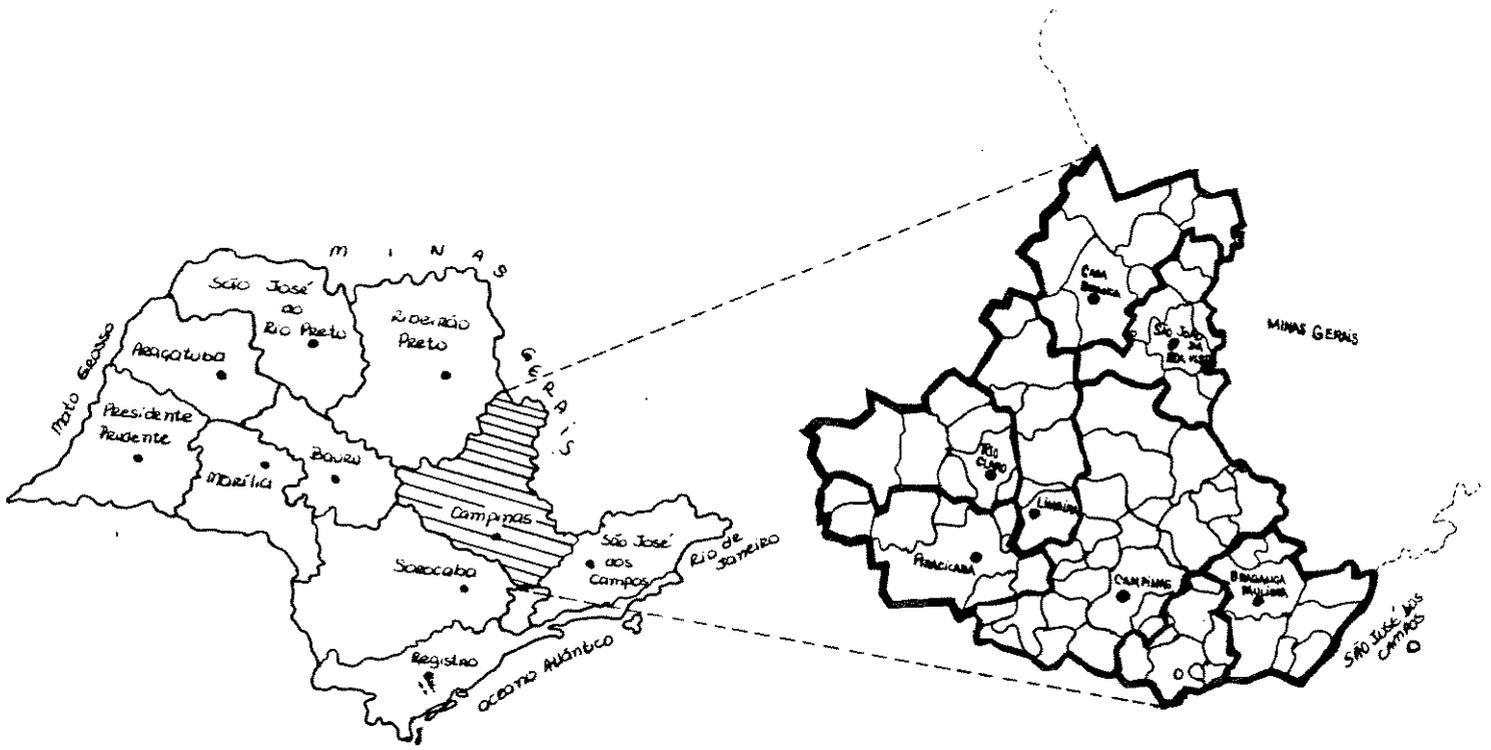


FIGURA 1.1: LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO DE CAMPINAS/SP.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

As informações necessárias para o entendimento deste trabalho, são apresentados na seguinte forma:

Capítulo 1: INTRODUÇÃO: Apresenta o objetivo do trabalho bem como situa o problema dentro da metodologia proposta para resolvê-lo;

Capítulo 2: INTERAÇÃO BICUDO-ALGODÃO-AMBIENTE EM CAMPINAS/SP: Expõe os aspectos biológicos e ecológicos importantes para a compreensão do problema;

Capítulo 3: MODELAGEM, SIMULAÇÃO E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: Mostra termos técnicos e considerações pertinentes aos processos de elaboração de modelos matemáticos, simuladores e sistemas especialistas, bem como suas aplicações ao tema;

Capítulo 4: PROJETO DO SIMULADOR: Mostra todo o processo envolvido na elaboração do simulador - estimativas, distribuições de probabilidade, estrutura de dados, fluxogramas descritivos e comentários à eles pertinentes, linguagem de programação utilizada, etc.;

Capítulo 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES: Fornece os resultados obtidos de forma discutida e conclusões decorrentes da análise dos cenários propostos;

Capítulo 6: CONCLUSÕES GERAIS: Conclusões gerais do trabalho;

BIBLIOGRAFIA: Expõe a literatura citada, bem como a consultada para a elaboração do trabalho;

ANEXOS: Apresenta informações adicionais ao projeto do simulador.

CAPÍTULO 2

INTERAÇÃO BICUDO-ALGODÃO-MEIO AMBIENTE EM CAMPINAS/SP.

2.1. CONSIDERAÇÕES AO INSETO E SUA PLANTA HOSPEDEIRA.

A) O ALGODÃO

Originário da Índia, o algodão (tendo por étimo o hispano-árabe *qutún*, ár. *qutn*, como "planta (algodoeiro)" e "fibra", foi introduzido na Península Ibérica a partir da primeira metade do século X, de mudas trazidas da Síria (ENC.MIRADOR, 1987).

Tratando-se originariamente de um arbusto PERENE, isto é, de um vegetal que vive três ou mais anos, o algodão pertence à família das Malváceas, Tribo *Hibisceas* e Gênero *Gossypium*.

Dentre as mais de 30 espécies catalogadas, somente duas (as que produzem fibras têxteis) são comercialmente exploradas: *hirsutum* (herbáceo) e *barbadense* (arbóreo).

Nas Américas os cultivares predominantes são das espécies *hirsutum* e *barbadense*. A *barbadense* é uma espécie perene e a *hirsutum* é dita ANUAL (vive um ano ou menos).

No Brasil, de acordo com a Região Geográfica, encontram-se diferentes espécies em cultivo. No Centro-Sul e Sul do país predomina a espécie arbustiva anual (herbáceo); já na região Nordeste, a espécie mais encontrada é do tipo perene (arbóreo).

Na região Sudeste, principalmente no oeste do Estado de São Paulo, o algodão plantado é o *Gossypium hirsutum*.

Suas já conhecidas formas de exploração industrial (têxtil, combustível, celulose, rações e óleos) expandem-se cada vez mais, dado que atualmente, o óleo de algodão tem apresentado grandes vantagens na composição de sabonetes (Sarl, 1992).

No Brasil, o algodão ocupa o sétimo lugar dentre as culturas economicamente significativas, colocando-o entre os 10 principais produtores mundiais (Sarl, 1992).

A dinâmica do crescimento e desenvolvimento da espécie de algodão explorada comercialmente na Região Sudeste do Estado de São Paulo pode ser melhor acompanhada através de seu estudo morfo-fisiológico.

A.1) CONSIDERAÇÕES QUANTO À MORFOLOGIA E FISIOLOGIA DA PLANTA

Basicamente, a hereditariedade de uma espécie vegetal dá-se pela sua SEMENTE.

A semente é o elemento de reprodução das plantas que produzem flores. É composta de tegumentos e amêndoa, no interior da qual fica o embrião que reproduzirá o vegetal (Coutinho, 1974).

Em lavouras de importância comercial, as sementes plantadas são derivadas das sementes nativas (originais) da espécie, mas com diferentes características, decorrentes do deslocamento de energia da planta para determinadas fases de seu desenvolvimento. Estas sementes são resultantes de pesquisas visando melhor qualidade e produtividade. A estas sementes, resultantes de estudos de melhoramentos genéticos, dá-se o nome de VARIEDADES.

As sementes são plantadas em épocas determinadas, onde as condições climáticas favoreçam seu desenvolvimento. Por este motivo, cada vegetal, quando explorado comercialmente, possui uma época de plantio, onde seu desenvolvimento e produtividade tendem a ser máximos.

Na região de Campinas, por exemplo, o ciclo do algodão começa entre 20 de setembro e 20 de outubro.

Após o plantio as sementes rapidamente absorvem água do solo. Decorridas 36-48 horas do plantio ocorre a GERMINAÇÃO da semente. A germinação corresponde a apresentação de processos, por parte da semente, que culminam com a emissão da radícula, originando o processo de formação das raízes da planta (Hearn *et al.*, 1984).

Aproximadamente 5-10 dias após a germinação ocorre a EMERGÊNCIA da planta. A partir desta data atribui-se o termo IDADE DA PLANTA ao número de dias decorridos até o momento atual de análise.

Dando continuidade ao processo de crescimento da planta ocorre o aparecimento do caule principal e de regiões formadas neste caule que darão origem a ramos, folhas, etc., denominadas NOS.

Cada nó do caule principal dá origem ao rudimento de um ramo, geralmente formado na axila de uma folha e, por isso, denominado GEMA AXIAL.

Nesta fase, a planta começa a crescer verticalmente, aumentando sua área foliar.

Uma vez que a energia da planta é captada através da energia solar, o aumento da área foliar, faz com que a energia captada seja fotossintetizada e transformada em carboidratos, energia da planta.

Posteriormente a esta fase de crescimento, o acúmulo de energia da planta é dirigido para a produção de seus órgãos reprodutivos, além da sua própria manutenção. Neste momento, a planta termina a verdadeira fase de crescimento vegetativo. Dá-se a fase de indução floral, onde a primeira gema axial e os nós do caule principal formados posteriormente, tornam-se reprodutivos e desenvolvem-se em ramos de frutificação (Hearn *et al.*, 1984).

No caso do algodão, cada ramo de frutificação consiste de um segmento inicial que termina com um BOTÃO FLORAL e uma folha. Posteriormente, uma nova gema axial é formada entre o botão e a folha. Esta gema axial produz um novo segmento de frutificação que também terminará com um botão floral e uma folha que terão uma gema axial e assim por diante. Deste modo, a fase de crescimento vegetativo continua em paralelo com a fase de crescimento reprodutivo, desde que a cada aparecimento de um novo botão floral esteja associado uma nova folha e um novo INTERNO (parte do caule entre dois nós consecutivos) (Hearn *et al.*, 1984).

Esta forma de desenvolvimento de ramos florais prossegue, dando ao ramo de frutificação uma indeterminação quanto à previsão de comprimento e um formato de zig-zag (ou espiral), característico das plantas de algodão.

Assim, uma folha é modificada e em sua gema axial nasce um botão floral. Esta folha modificada recebe o nome de BRÁCTEA (Ferri *et al.*, 1981) e geralmente, ocorrem em número de três. Apresentando formato cordiforme e denteadas (8-12 dentes), as brácteas envolvem o botão floral.

Com o crescimento do botão floral, aparecem as sépalas de cor amarelo clara (Hearn *et al.*, 1984). As SÉPALAS (geralmente cinco, unidas e truncadas) são os segmentos do involúcro existente na flor. Este involúcro recebe o nome de CÁLICE (Ferri *et al.*, 1981)(Vide Fig.2.1). Esta estrutura é órgão de proteção da flor.

A COROLA é o involúcro floral, existente dentro do cálice floral (Ferri *et al.*, 1981).

A corola, é facilmente identificada por ser, geralmente, a parte mais vistosa da flor (colorida). A corola é creme ou amarela no primeiro dia, passando à coloração rósea e posteriormente à esbranquiçada. Cada seguimento colorido que constitui a corola denomina-se PÉTALA (geralmente cinco). Quando a flor é fecundada, suas pétalas passam a coloração violácea (as vezes roxa) e no terceiro dia as pétalas caem (Silveira Neto *et al.*, 1976).

O conjunto formado pelo cálice e pela corola da flor, denomina-se PERIANTO (Ferri *et al.*, 1981).

Uma vez abertos os botões florais, inicia-se o período de floração, também denominado ANTESE (Ferri *et al.*, 1981).

Apresenta-se na FIG. 2.1 um esquema da flor, permitindo-se a visualização dos termos morfológicos da planta citados nos parágrafos anteriores.

Nela, vê-se os órgãos reprodutores da flor: o masculino e o feminino.

O órgão reprodutor masculino da flor, denomina-se ESTAME ou ANDROCEU.

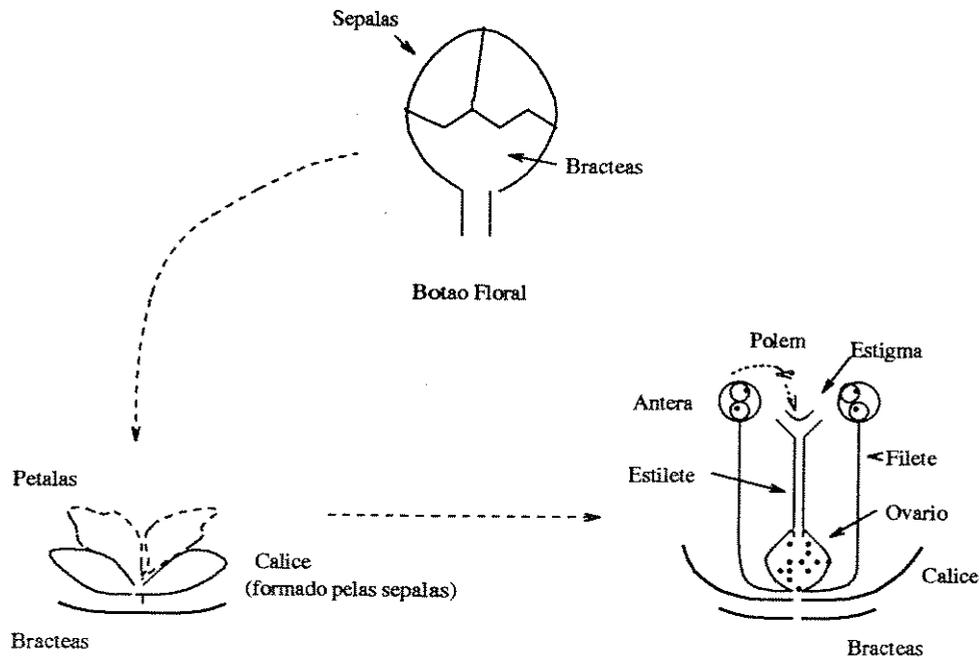


FIGURA 2.1: ESQUEMA DA FLOR.

O androceu é constituído por filete e antera. O FILETE é a parte estéril do estame. Ele suporta a estrutura que contém os grãos de pólen, a ANTERA. Esta estrutura, está presente na fase de botão floral, com todo o seu potencial de pólen armazenado em seu interior.

O órgão reprodutor feminino da flor denomina-se PISTILO ou GINECEU.

O pistilo forma-se a partir da modificação de uma folha (carpelo) e é constituído por estigma, estilete e ovário (com três-cinco carpelos e três-cinco lóculos cada qual com 8-10 óvulos).

O ESTIGMA é a parte mais alta do pistilo. Quando ocorre a polinização, natural ou induzida, o grão de pólen é transportado da antera ao estigma. O grão de pólen é conduzido ao ovário por um fino tubo condutor, denominado ESTILETE (ou ESTILO).

Ao chegar no OVÁRIO (região inferior, dilatada, do pistilo), o pólen encontra os óvulos. A presença do grão de pólen nesta estrutura, faz com que o ovário transforme-se em fruto e os óvulos em sementes.

O FRUTO divide-se internamente, geralmente, em três a cinco lóculos, isto é, em cinco pequenas cavidades onde se encontram as sementes. Cada lóculo possui 10 a 12 óvulos dos quais 5 a 11 desenvolvem-se em sementes recobertas por fibras (Hearn *et al.*, 1984). Embora seu formato apresente variações, tende a ovóide alongado na ponta (Silveira Neto *et al.*, 1976).

O fruto ainda verde, normalmente é chamado de "MAÇÃ", enquanto o fruto maduro é denominado "CAPULHO".

As fibras são "cabelos" unicelulares que se desenvolvem das células da epiderme da membrana da semente.

Existem dois tipos de fibras: enroladas e não enroladas.

Durante metade do período de frutificação, os frutos verdes se desenvolvem, atingindo seu tamanho máximo e o alongamento de suas fibras. Neste período, um dos lóculos do fruto forma o feixe de sementes que garantirá a continuidade da espécie (Hearn *et al.*, 1984).

No período posterior, que completa a duração da fase de desenvolvimento do capulho, ocorre o espessamento das fibras.

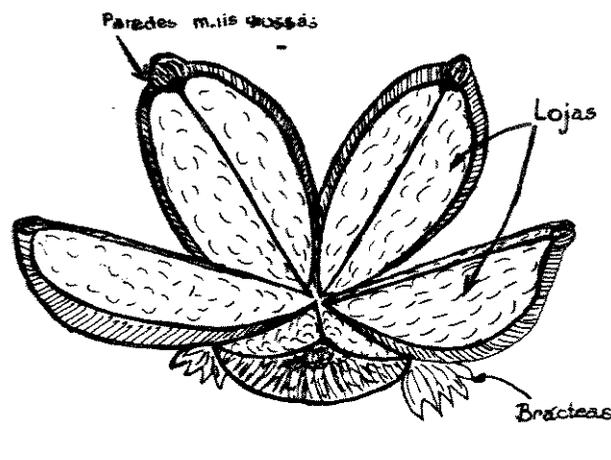


FIGURA 2.2: ESQUEMA DO FRUTO (FONTE: Silveira Neto *et al.*, 1976).

Nesta fase, camadas espirais concêntricas de celulose são depositadas ao redor do lúmem central que torna-se aos poucos cada vez menor. Esta deposição de celulose é encerrada antes do lúmem estar totalmente tampado, o que não ocorre com os fios da semente do algodão selvagem onde o lúmem é totalmente destruído (Hearn *et al.*, 1984). Os lóculos do fruto, durante o processo de desenvolvimento do capulho, contém as fibras num meio leitoso, debaixo de forte pressão (Silveira Neto *et al.*, 1976).

A presença do lúmem permite que os flocos de fibras presas nas sementes (existentes em cada lóculo) apresentem a aparência conhecida do algodão, quando o fruto maduro abre-se em um ângulo de até 180° (DEISCÊNCIA DO CAPULHO) (Vide FIG. 2.3).

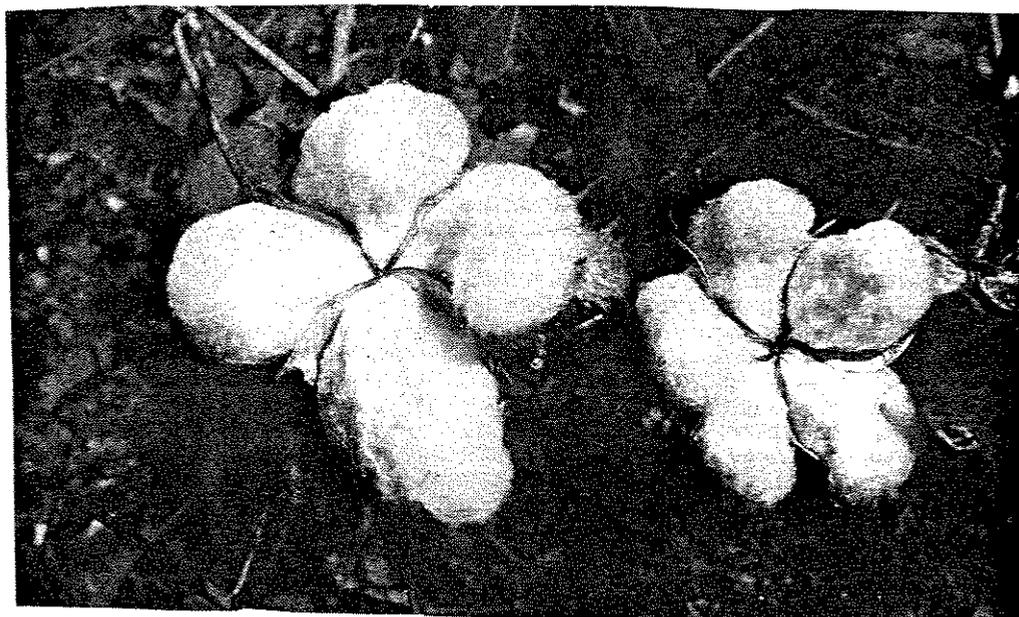


FIGURA 2.3: DEISCÊNCIA DO CAPULHO DO ALGODÃO.

Esta linhagem de algodão, definida pela deposição espiral de celulose, causa um enrolamento nas fibras, característica que as tornam fiáveis e comercialmente exploráveis (Hearn *et al.*, 1984).

A.2) O ALGODÃO PLANTADO NA REGIÃO DE CAMPINAS/SP.

A Região de Campinas localiza-se na parte centro-leste do Estado de São Paulo (Christofolletti *et al.*, 1972).

Nesta região, a espécie de algodão plantada é *Gossypium hirsutum*.

As variedades mais utilizadas nos últimos anos foram o IAC17 e o IAC20, ambas desenvolvidas a partir de estudos de melhoramentos genéticos realizados no Instituto Agrônomo de Campinas/SP.

Basicamente, o IAC17 e o IAC20 apresentam o mesmo padrão de comportamento em termos do tempo de duração de suas fases de desenvolvimento e da quantidade de estruturas frutíferas que podem gerar. A diferença básica entre as duas variedades encontra-se nas maiores resistências das fibras e a nematóides por parte do IAC20, tornando-a a variedade de semente mais utilizada no Estado de SP.

Através dos dados apresentados por Pierozzi Jr (1985, 1989) utilizando estas variedades de sementes na região de CAMPINAS, foi possível o cálculo do tempo médio de duração dos estágios de desenvolvimento (em dias) da planta do algodoeiro:

Germinação	2 dias do plantio;
Emergência	4-10 dias da germinação;
1º Botão	40-60 dias da germinação;
1ª Flor	24 dias do 1. botão;
Fruto	60-90 dias;
Deiscência do Capulho	A partir dos 120 dias

A colheita é iniciada entre março e abril.

A safra termina em meados dos meses de abril/maio, quando então os restos culturais são totalmente destruídos seguindo-se as orientações fitossanitárias e dando início ao período denominado ENTRESSAFRA.

Outra forma de apresentar as principais etapas do desenvolvimento da planta do algodoeiro seria em termos da idade da planta.

Dessa forma, o ciclo da planta estaria dividido em fases, de acordo com a maior ocorrência das estruturas de frutificação da planta.

Assim:

FASE 0: Compreende o período da germinação até o aparecimento do primeiro botão floral.

DURAÇÃO: 40 dias;

FAIXA DE IDADE DA PLANTA: De 0 até 39 dias de idade.

FASE 1: Compreende o período onde existem apenas botões.

DURAÇÃO: 30 dias;

FAIXA DE IDADE DA PLANTA: De 40 até 70 dias de idade.

FASE 2: Período com maior número de botões que frutos verdes (ou maçãs).

DURAÇÃO: 15 dias;

FAIXA DE IDADE DA PLANTA: De 71 até 86 dias de idade.

FASE 3: Período com maior número de frutos verdes que botões.

DURAÇÃO: 30 dias;

FAIXA DE IDADE DA PLANTA: De 87 a 117 dias de idade.

FASE 4: Período com predominância absoluta de frutos verdes.

DURAÇÃO: 25 dias;

FAIXA DE IDADE DA PLANTA: De 118 a 143 dias de idade.

FASE 5: Período de entressafra.

DURAÇÃO: de abril/maio até setembro/outubro.

Estas fases apresentam-se em forma esquemática a seguir (Vide FIG. 2.4).

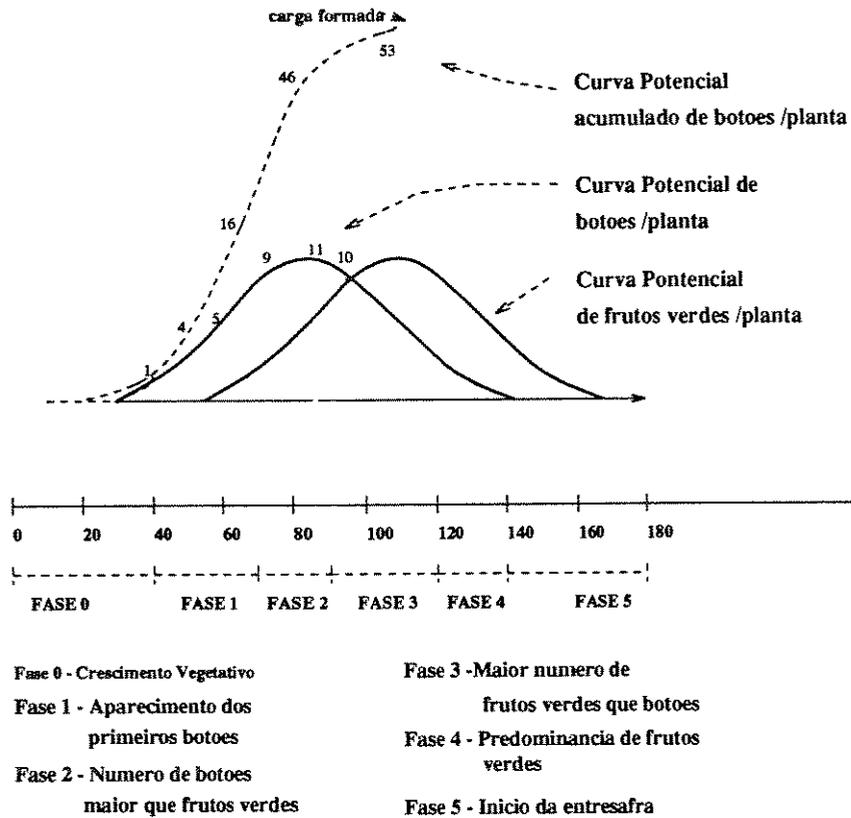


FIGURA 2.4: FASES DO ALGODOEIRO NA REGIÃO DE CAMPINAS/SP.

Definidas as principais fases de desenvolvimento da planta, especifica-se a quantidade de estruturas frutíferas que ela potencialmente poderia gerar.

Em condições ambientais favoráveis e sem deficiências de ordem agrônômica ou presença de pragas em níveis populacionais significantes, a quantidade potencial de estruturas frutíferas das variedades IAC17 e IAC20, são apresentadas no diagrama abaixo (Marur, 1980).

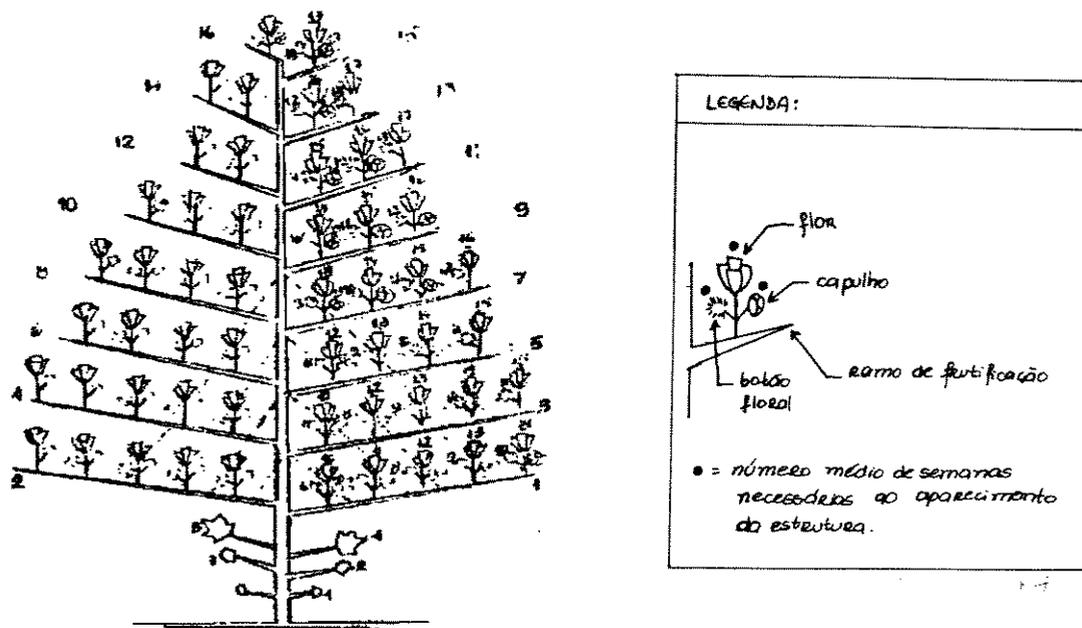


FIGURA 2.5: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DOS ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS DO ALGODOEIRO (FONTE: MARUR, 1980).

Este diagrama, elaborado para auxiliar o produtor a garantir uma boa safra, informa que a quantidade de botões florais produzidos, acumulados semanalmente, deve ser próxima da apresentada pelo número de estruturas frutíferas compreendidas dentro do triângulo formado pelo número correspondente à semana.

O gráfico (Fig. 2.6) apresenta os dados fornecidos pelo diagrama, em função das semanas contadas a partir do aparecimento do primeiro botão floral.

Na verdade, desse valor potencial de botões florais, cerca de 60-70% podem ser perdidos por "stress" resultante de fatores ambientais, inimigos naturais e ataques de pragas em baixa população, salvaguardando-se a produção. Assim, embora a planta do algodoeiro possa produzir potencialmente 53 botões florais, apenas 16-20 botões/planta chegam a se transformar em capulho.

Esta percentagem de perda (queda por "stress") dá-se em fases determinadas, isto é, não é homogênea em todo o período de produção. Existem fases onde a queda de botões ocorre em até 80% e outras fases onde praticamente não são verificadas quedas significativas.

Na presença de pragas que danifiquem estruturas frutíferas, é importante a determinação de seu ciclo evolutivo bem como a determinação do nível populacional que comprometeria a produção de algodão.

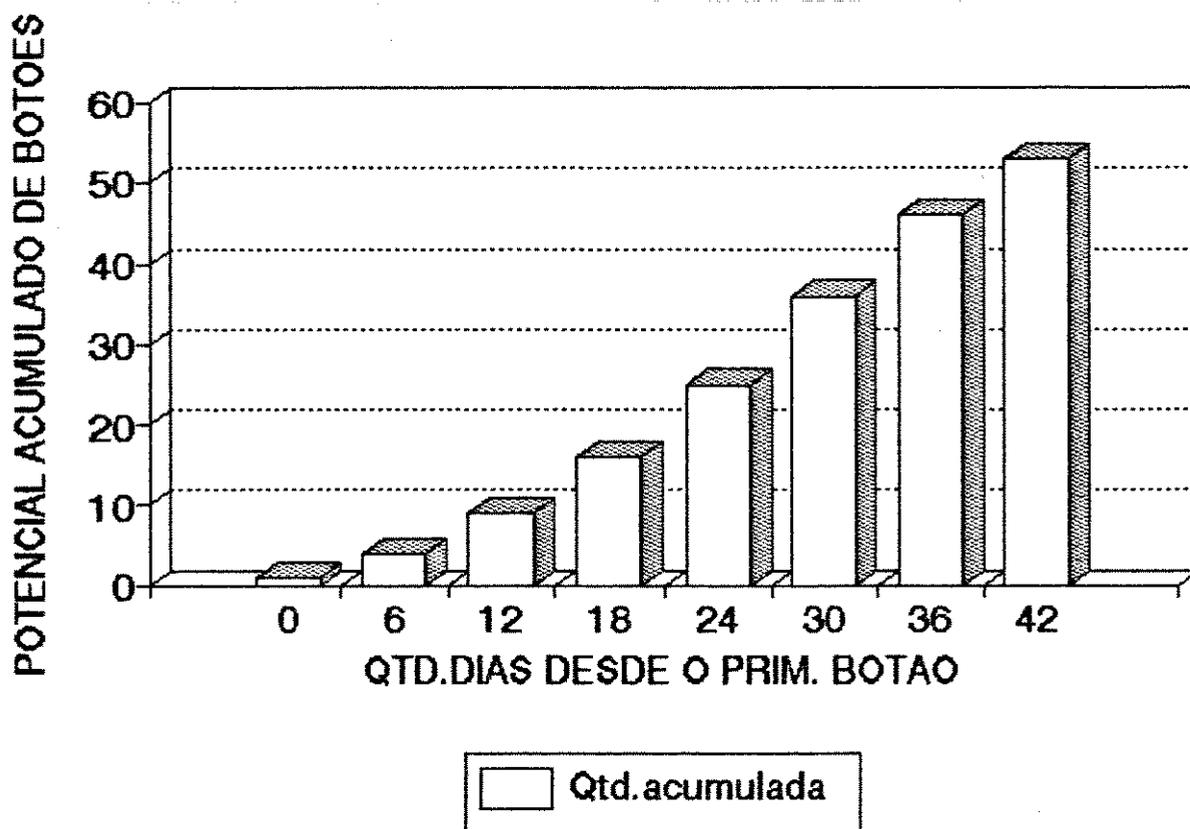


FIGURA 2.6. POTENCIAL ACUMULADO DE BOTÕES FLORAIS.

As principais pragas do algodoeiro brasileiro são apresentadas a seguir (Tabela 2.1).

TABELA 2.1: PRINCIPAIS PRAGAS DO ALGODOEIRO.

NOME COMUM	NOME CIENTÍFICO
ATAQUE	
Pulgão do algodoeiro	<i>Aphis gossypii</i>
Atacam as folhas	
Tripes	<i>Frankliniella sp</i>
Atacam brotos e folíolos mais novos para sugar a seiva.	
Broca do algodoeiro	<i>Eutinobothrus brasiliensis</i>
Atacam o caule	
Curuquerê	<i>Alabama argillacea</i>
Atacam as folhas	
Lagarta da maçã	<i>Heliothis virescens</i>
Raspam folhas, botões flores e frutos.	
Ácaro Vermelho	<i>Tetranychus ludeni</i>
Atacam as folhas	
Ácaro Rajado	<i>Tetranychus urticae</i>
Atacam as folhas	
Ácaro Branco	<i>Polyphagotarsonemus latus</i>
Rasgadura das folhas	
Percevejo Castanho	<i>Scaptocoris castanea</i>
Atacam a raiz	
Lagarta Rosca	<i>Agrotis ipsilon</i>
Atacam o caule	

Continuação da TABELA 2.1:

NOME COMUM	NOME CIENTÍFICO
ATAQUE	
Cigarrinha	<i>Empoasca spp</i>
Sugam folhas na face inferior	
Vaquinha	<i>Costalimita ferrugínea vulgata</i>
Atacam folhas novas	
Mosca Branca	<i>Bemisia tabaci</i>
Atacam a face inferior da folha aparecendo pontinhos brancos e amarelos (adultos, larvas e pupas) causando encrespamento, murchamento e envelhecimento	
Percevejo Rajado	<i>Horcias nobilellus</i>
Atacam botões, flores e maçãs novas.	
Percevejo Manchador	<i>Dysdercus ruficollis</i>
Sugam o fruto	
Nematóides	<i>Meloidogyne incognata</i> <i>Rothilenchulus reniformis</i>
Aparecem na terra e causam manchas na lavoura, folhas com limbo descolorido, manchas pardas ou necrozadas	
Lagarta Rosada	<i>Platyedra gossypiella</i>
Atacam flores, botões e maçãs.	
Bicudo	<i>Anthonomus grandis</i>
Ataca botões e frutos verdes	

Dentre estas pragas, o bicudo é considerado atualmente a principal praga do algodoeiro, visto que se alimenta e reproduz preferencialmente em botões florais e frutos verdes do algodoeiro, danificando-os seriamente.

Na seção a seguir serão apresentadas considerações, pertinentes ao bicudo, utilizadas nesse trabalho.

B) O BICUDO DO ALGODOEIRO

O bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boheman, Insecta: Coleoptera: Curculionidae) foi identificado em 1843, de material coletado no México, pelo naturalista suéco C. H. Boheman.

Embora atualmente sejam reconhecidas três formas de bicudos, além de algumas sub-espécies, o encontrado no Brasil, *Anthonomus grandis grandis* Boheman, é o mesmo cuja ocorrência predomina em algodoads da parte central-norte do México, Sudoeste dos EUA, Venezuela e Colômbia (Degrande, 1991).

Tratando-se de um inseto com hábitos alimentares de origem vegetal ("fitófago"), a espécie encontrada no Brasil apresenta preferência por botões florais e frutos verdes do algodoeiro, na ausência desses sítios foi encontrada alimentando-se de outras plantas da família das Malváceas (Pierozzi Jr., 1985; 1989).

Na disponibilidade de botões florais e frutos verdes, ainda mostra preferência acentuada pelos botões florais. Tal preferência alimentar justifica-se pela grande quantidade de pólen, sua alimentação básica, encontrado nas anteras localizadas dentro dos botões florais do algodoeiro. Para alcançá-las, sua própria bionomia, o longo rostró que o deixou conhecido pelo nome de "bicudo", o auxilia na perfuração do botão floral em busca do alimento.

Assim sendo, aos primeiros dias de aparecimento dos botões florais na lavoura, os bicudos adultos (Fig. 2.7), sobreviventes da safra anterior, deslocam-se de seus locais de refúgio em busca dos botões florais.

Os machos, alimentando-se de botões florais produzem o feromônio (do grego *Pherein* (carregar), *Horman* (estimular)). Esta substância química volátil é responsável pela atração e estímulo sexual visando o acasalamento e a perpetuação da espécie (Degrande, 1991). Através desse feromônio liberado pelo macho, as fêmeas são atraídas causando a agregação dos adultos da espécie. A liberação deste feromônio é responsável, portanto, pela entrada de novos adultos na lavoura, emergentes dos refúgios ou migrantes de campos vizinhos onde a existência do recurso alimentar preferencial do inseto não esteja disponível ou apresente-se em pouca quantidade.

As fêmeas recém emergidas dos locais de refúgio ou migrantes, são chamadas COLONIZADORAS. Estas fêmeas não produzem ovos geneticamente viáveis até que passem a alimentar-se de uma dieta de pólen, rica em proteínas.

Decorridos 5 dias, em média, da inclusão desta dieta alimentar, as fêmeas tornam-se sexualmente ativas.

Novamente o botão floral será escolhido preferencialmente, agora como sítio de reprodução, muito embora o fruto verde também possa ser utilizado para este fim.



FIGURA 2.7: O ADULTO DO BICUDO DO ALGODOEIRO.
(Foto cedida pelo Prof.Dr.Mohamed Habib -IB/UNICAMP).

A fêmea perfura o botão floral com seu rostró e deposita seu ovo nesse orifício. Posteriormente, a perfuração é por ela tampada com fezes, que reagindo com o botão floral provocam o aparecimento de um sinal gelatinoso, de cor mostarda, facilmente verificável ("verruca"), auxiliando na identificação de botões contendo fases imaturas do desenvolvimento do inseto. Esta reação não ocorre no fruto verde, dificultando sinais que evidenciem o desenvolvimento das fases imaturas naquele sítio.

O número de ovos/fêmea/planta/dia varia de acordo com a dieta alimentar, com o estímulo ambiental e com a idade da fêmea.

O ovo depositado no botão, passa a ser um embrião que se desenvolverá em mais 2 estágios imaturos.

O segundo estágio é denominado fase LARVAL (Fig. 2.8). Neste estágio, o embrião alimenta-se das paredes internas do botão aumentando de tamanho. Este aumento de tamanho dar-se-á em 3 ESTÁDIOS (sub-fases existentes em uma fase de desenvolvimento). O inseto "estufa-se" enrijecendo seu exoesqueleto e posteriormente voltando a seu tamanho normal. Visto que seu corpo é basicamente formado de água, hemolinfa, alimenta-se até preencher todo o espaço interno de seu corpo, quando novamente repetirá o processo de formação de um novo exoesqueleto, abandonando o anterior (ECDISE), para poder aumentar de tamanho. Estes estádios repetem-se por 3 vezes, no caso do bicudo.

No caso do desenvolvimento larval dar-se dentro de botões florais, ao atingir-se o terceiro estágio larval, uma membrana de abscisão é formada no local onde o pedúnculo do botão floral prende-se ao ramo, ocasionando a queda

do botão. No fruto verde, este processo de abscisão provocado pela presença larval não é verificado.

Sabe-se também, que pelo fato do botão floral apresentar uma única cavidade internamente, dificilmente encontrar-se-á mais de uma larva passando para o estágio seguinte de desenvolvimento do inseto, visto a existência de competição intra-específica pelo alimento. No fruto verde, onde é verificada a existência de cinco lojas (cavidades distintas) internas, poder-se-á encontrar mais de um inseto em desenvolvimento sem maiores problemas.

A fase seguinte é denominada PUPA. Nesta fase, a morfologia externa do inseto já mostra sinais de semelhança com a forma adulta, evidenciando-se seu rostro longo, embora ainda com aspecto imaturo.

Atingindo o estágio adulto, o inseto abandona o abrigo vegetal das fases imaturas (ovo, larva e pupa) começando a sua vida livre.

Esses adultos, recém emergentes das fases imaturas, aparecem na razão sexual (proporção de fêmeas na população) de 48%, na Região de Campinas (Gutierrez, 1986; Pierozzi Jr., 1985, 1989).

As fêmeas, recém-emergentes para a fase de vida livre, passam por um período chamado PRÉ-OVIPOSIÇÃO, onde ainda não estão aptas a procriar (EMBRAPA/CNPA, 1990; EMBRAPA/DDT, 1986; Gutierrez, 1986; Pierozzi Jr., 1986, 1989). A duração média deste período compreende 5 dias. Estas fêmeas utilizar-se-ão dos botões e/ou frutos verdes apenas para alimentação.

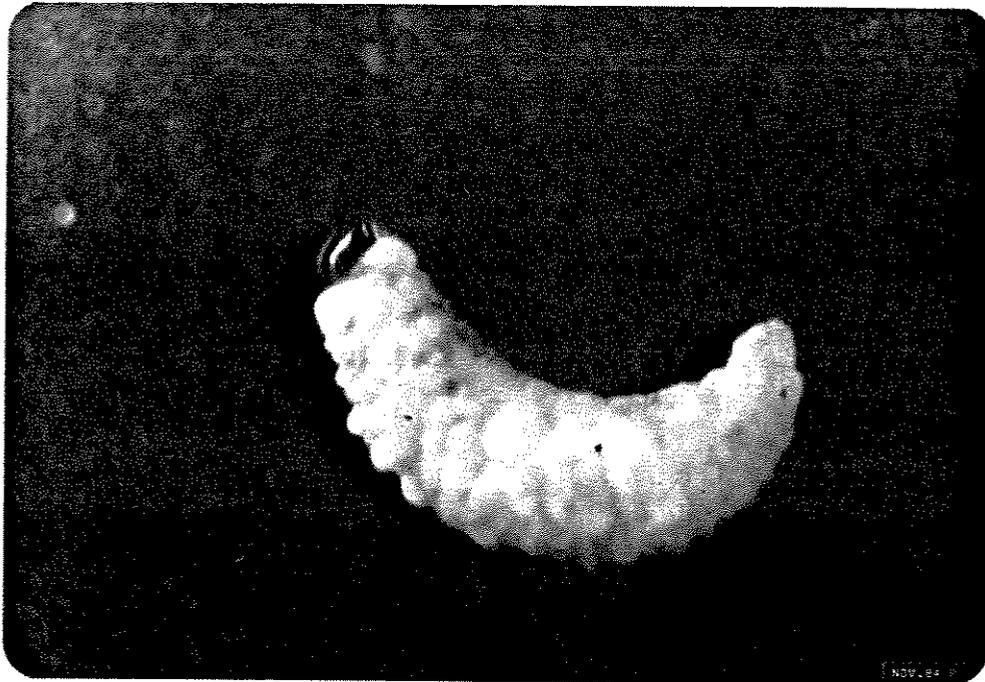


FIGURA 2.8: FASE IMATURA DE DESENVOLVIMENTO DO BICUDO.
(Foto cedida pelo Prof.Dr. Mohamed Habib -IB/UNICAMP).

Os machos recém emergentes da fase de pupa, no entanto, já possuem sua vida sexual ativa. Dessa forma, contribuem para a reprodução, caso

existam fêmeas ativas, e passam a atacar as estruturas frutíferas do algodoeiro para alimentação.

Muitas vezes verificam-se adultos alimentando-se de botões e/ou frutos verdes contendo em seu interior fases imaturas do inseto em desenvolvimento. O sinal de perfuração para fins alimentares deixa um orifício abrindo contato direto do interior da estrutura com o meio externo e, portanto, propiciando alto índice de mortalidade dos estágios imaturas em desenvolvimento, decorrente de fatores abióticos e bióticos. Entretanto, na disponibilidade de grande quantidade de estruturas frutíferas, a mortalidade ocasionada por este fator é insignificante.

Em condições ambientais satisfatórias ao inseto e na disponibilidade de recurso alimentar, a fêmea do inseto vive em média 33 dias e o macho 32 dias (Gutierrez, 1986).

Para as condições ambientais brasileiras, em especial no Estado de São Paulo, Gutierrez (1986) especificou a duração de cada fase de desenvolvimento em dias (Fig. 2.9).

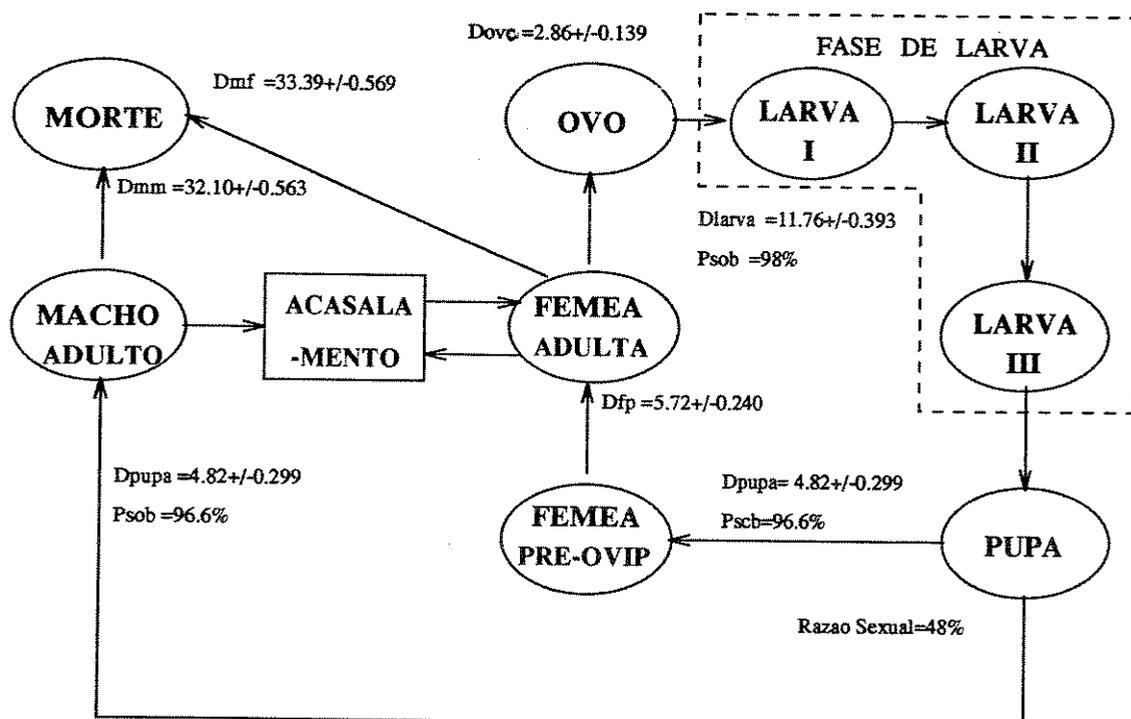


FIGURA 2.9: CICLO DE VIDA DO BICUDO DO ALGODOEIRO
(Fonte dos dados: GUTIERREZ, 1986)

Outro aspecto importante do qual o inseto está geneticamente propício a evidenciar é a diapausa.

Estimulado por condições ambientais insatisfatórias, tais como fotoperíodo inferior a 11 horas, temperatura média inferior a 10^o C e falta de alimento, o inseto pode alterar seu metabolismo de forma a economizar energias para manter-se vivo até que novas condições sejam favoráveis a suas funções biológicas normais. Este fenômeno recebe o nome de DIAPAUSA (Lloyde *et al.*, 1967 *apud* Degrande, 1991).

No bicudo brasileiro, devido às condições ambientais, mesmo no inverno e no período entressafras, não serem tão rigorosas como em outros países onde esta espécie se infiltrou, o fenômeno de diapausa (Campanhola *et al.*, 1986 *apud* Degrande, 1991) não é comum, dificultando dados quantitativos que a determinem, muito embora alguns trabalhos induzam a acreditar na existência de diapausa reprodutiva facultativa (Pierozzi Jr., 1986, 1989). Este tipo de diapausa seria induzido pela completa abstinência de botões florais na dieta alimentar da fêmea, que interromperia a sua fase reprodutiva, embora o inseto continuasse vivendo sua vida livre.

O grande número de predadores existentes nas lavouras também seria um fator relevante para evidenciar que a diapausa, mesmo que apresentando-se completa, não contribuiria para uma população significativa no início da safra seguinte, pois o inseto entrando neste estado seria um alvo fácil (Pierozzi Jr., 1989).

Embora muitos estudos estejam sendo desenvolvidos para a definição deste fenômeno no Brasil, não existe uniformidade nos dados quantitativos conclusivos dos trabalhos elaborados até o momento, no intuito de comprovar numericamente a ocorrência do fenômeno de diapausa no bicudo aqui instalado.

Assim sendo, embora em países do hemisfério norte a diapausa seja um fator de influência significativa para o surgimento de populações em índices consideráveis no início do novo ciclo de algodão, para o Brasil ela será levada em consideração com peso inferior a 5% (Habib, Comunicação Pessoal).

No período de entressafra do algodão, embora a quantidade de sítios para alimentação e reprodução tenham significante diminuição, o inseto pode utilizar-se de outras plantas hospedeiras secundárias, garantindo a sobrevivência da espécie até o início da safra seguinte (Pierozzi Jr, 1985, 1989).

Mesmo assim, as evidências apresentadas em trabalhos realizados na Região de Campinas (Pierozzi Jr., 1985, 1989) comprovam que a população colonizadora não apresenta índices populacionais significativos.

Os adultos do bicudo também podem apresentar QUINETOPAUSA, isto é, a supressão de atividades, quando então fingem-se de morto (característica notada principalmente nos coleópteros) como função protetiva. Ao entrarem nesse processo, o inseto cai no chão e escapa de seus inimigos naturais, retornando à atividade normal após alguns instantes (Silveira Neto *et al.*, 1976).

Definida a forte interação existente entre a praga e sua planta hospedeira, medidas de controle visando a convivência com o problema sem a utilização de agentes causadores de agressão ambiental foram pesquisadas posteriormente.

A seção 2.2 apresentará considerações relativas ao meio ambiente encontrado na Região de Campinas, cujos fatores abióticos e bióticos serão utilizados na proposta de Manejo Integrado do Bicudo do Algodoeiro, utilizada neste trabalho, estudada por pesquisadores da área de ecologia aplicada (Pierozzi Jr., 1985, 1989; Habib *et al.*, 1984) para esta Região.

2.2) O MEIO AMBIENTE ONDE O PROBLEMA SE INSERE.

A) FATORES ABIÓTICOS

Por fatores abióticos entendam-se os principais fenômenos físicos e químicos da natureza, verificados no meio ambiente em estudo, que influenciam o comportamento dos seres vivos nele inseridos.

Os fatores abióticos considerados para este trabalho são temperatura e pluviosidade.

Apresenta-se, a seguir, uma breve discussão quanto a importância destes fatores abióticos para este trabalho.

A1) TEMPERATURA

É sabido que os insetos são POIQUILOTÉRMICOS, isto é, mantêm sua temperatura corporal próxima à do meio ambiente (Silveira Neto *et al.*, 1976).

Visto que o bicudo é um inseto e que o meio ambiente nunca apresenta temperatura constante, é esperado que a duração de suas fases de desenvolvimento, bem como seu comportamento, sejam diretamente influenciados por flutuações de temperatura significativas.

Cada estágio de desenvolvimento do inseto pode necessitar de temperaturas diferentes, sugerindo portanto que ambientes diferentes apresentam aumento ou redução neste tempo de desenvolvimento.

Assim, estudos sobre a influência da temperatura (Vide Fig. 2.10) estabeleceram que a faixa ótima de desenvolvimento de um inseto encontra-se em torno dos 25° C. Nesta faixa de temperatura, o inseto apresenta um desenvolvimento mais rápido e um número maior de descendentes (Silveira Neto *et al.*, 1976).

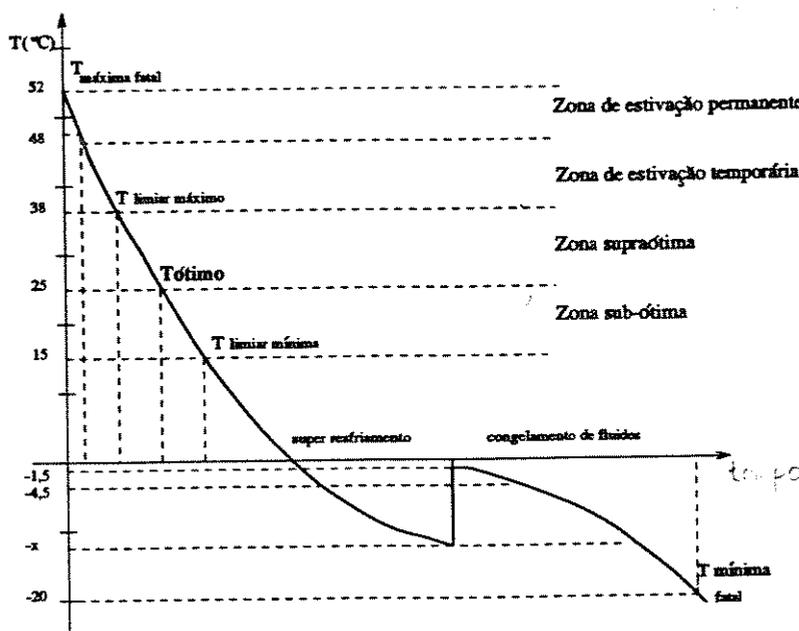


FIGURA 2.10: INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NOS INSETOS.
(Fonte: Gallo *et al*, 1970 *apud* Silveira Neto *et al.*, 1976)

Visto que a temperatura da região de Campinas, durante o ciclo do algodão, apresenta temperaturas em torno dessa faixa ótima de desenvolvimento, o bicudo encontra condições propícias para sua reprodução, aumentando rapidamente sua população na lavoura e causando estragos consideráveis quando não controlado a tempo.

A Fig. 2.11 apresenta um gráfico obtido a partir de dados de temperatura (em °C) fornecidos pela Seção de Climatologia do IAC/CAMPINAS, com médias mensais dos últimos cinco anos em Campinas, comprovando a afirmação feita no parágrafo precedente.

Trabalhos anteriores determinaram a temperatura base (TB) de sobrevivência do inseto, 12,5 °C, bem como as temperaturas relacionadas a suas fases de desenvolvimento para a Região de Campinas (Gutierrez, 1986).

A influência da temperatura não é verificada apenas para o inseto, mas para com sua planta hospedeira.

É sabido que a produção de nós no caule principal da planta do algodão é controlada pela temperatura. Visto que a taxa de produção de ramos de frutificação e, conseqüentemente a produção de botões florais, está diretamente relacionada com o número de nós produzidos no caule principal, a temperatura é um fator determinante da morfogênese da planta e, portanto, da produção (Hearn *et al.*, 1984).

Neste sentido, estudos anteriores foram direcionados também à avaliação da influência deste fator abiótico em algodoeiros da Região de Campinas.

Constatou-se que a temperatura base do algodoeiro é de 12 °C, bem como determinaram-se as temperaturas relativas a suas fases de desenvolvimento.

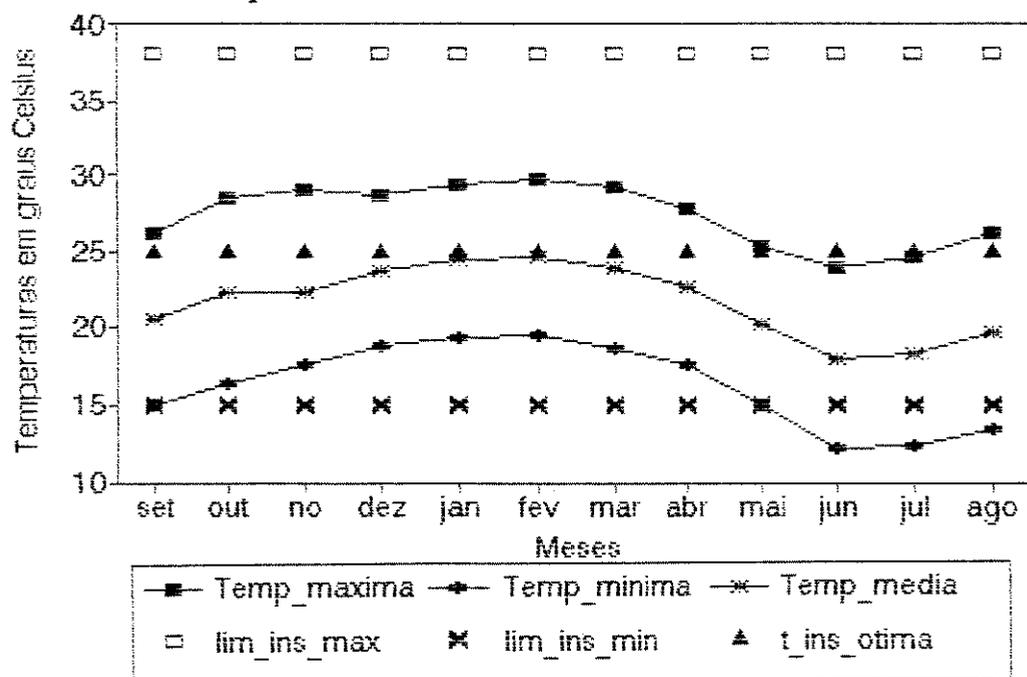


FIGURA 2.11: TEMPERATURAS MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA MENSAIS EM CAMPINAS/SP.

(Fonte dos dados brutos: Seção de climatologia IAC-Campinas)

Na tentativa de encontrar uma unidade representativa da necessidade de temperatura em diferentes ambientes, desenvolveu-se (Simpson, 1903 *apud* Silveira Neto *et al.*, 1976) o conceito de Constante Térmica cuja unidade de medida é o GRAUS DIA.

•O CONCEITO DE CONSTANTE TÉRMICA.

O produto do tempo de duração do desenvolvimento de um estágio pela diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura base (limiar de desenvolvimento) é definido como CONSTANTE TÉRMICA (Silveira Neto *et al.*, 1976). Esta constante, definida por Simpson em 1903, tem sua unidade expressa em GRAUS-DIA (GD).

Esta unidade, GD, representa o acúmulo de temperaturas favoráveis ao desenvolvimento de um determinado estágio, isto é, temperaturas acima da temperatura base de desenvolvimento da fase analisada, acumuladas até que ocorra uma nova troca de fase.

O cálculo em GD varia de acordo com as temperaturas máxima(TM) e mínima(Tm) do dia e a temperatura base inferior (TB).

Para este trabalho utilizaram-se as fórmulas de cálculo de GD citadas em Silveira Neto *et al.* (1976):

CASO 1: $TB < T_m$

$$GD = (T_m - TB) + (TM - T_m)/2$$

CASO 2: $TB \geq T_m$ e $TB < TM$

$$GD = (TM - T_m)^2 / (2(TM - T_m))$$

CASO 3: $TB > TM$

$$GD = 0$$

onde TB= temperatura Base, TM= temperatura Máxima e Tm= temperatura Mínima.

••OS CICLOS DO BICUDO E DO ALGODÃO EM GRAUS-DIA.

Dada a importância do conceito de constante térmica para a representatividade dos ciclos da planta e do inseto em qualquer ambiente, apresentam-se a seguir as fases de desenvolvimento do bicudo e do algodão em graus dias.

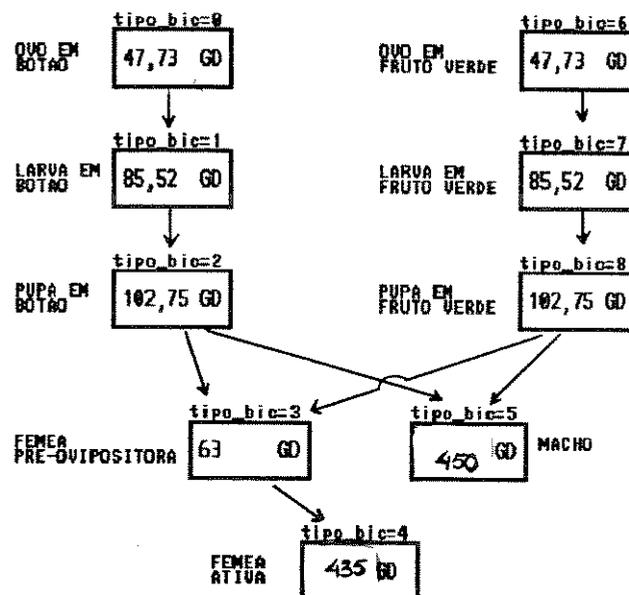


FIGURA 2.12: FASES DE DESENVOLVIMENTO DO BICUDO EM GD.
(Fonte dos dados GUTIERREZ, 1986, GUTIERREZ *et al.*, 1984)

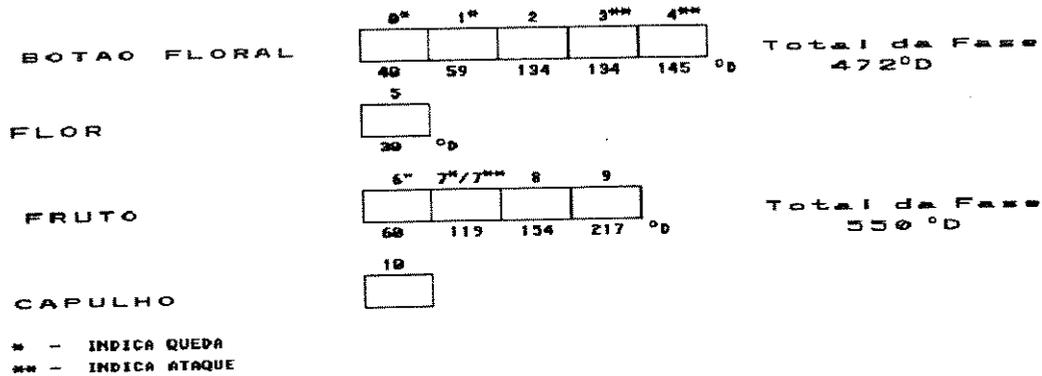


FIGURA 2.13: FASES DE DESENVOLVIMENTO DA PLANTA DO ALGODOEIRO EM GD (Fonte dos Dados: GUTIERREZ et al., 1991 a,b).

A2) PLUVIOSIDADE

Para este trabalho a pluviosidade será um fator abiótico de fundamental importância na eficiência de aplicação de inseticidas seletivos, como será apresentado na seção 2.3.

A Fig. 2.14 ilustra dados pluviométricos médios mensais de Campinas (em mm) obtidos analisando informações fornecidas pela Seção de Climatologia do IAC/CAMPINAS para os últimos cinco anos.

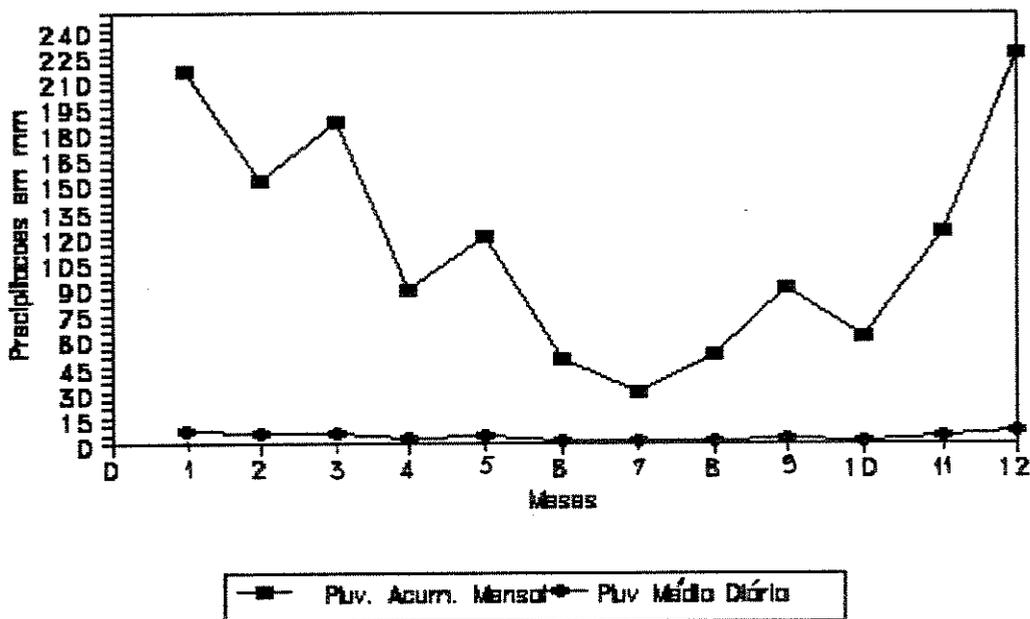


FIGURA 2.14: DADOS PLUVIOMÉTRICOS MÉDIOS MENSAIS DE CAMPINAS/SP.

B) FATORES BIÓTICOS

Por fatores bióticos entendam-se os inimigos naturais da praga que são encontrados nas lavouras de algodão, contribuindo para um controle biológico natural da população da praga.

Pesquisadores vêm estudando os principais inimigos naturais do bicudo encontrados na Região de Campinas (Camargo *et al.*, 1984; Gutierrez, 1986; Habib *et al.*, 1984; Pierozzi Jr., 1985, 1989; Carvalho *et al.*, 1992;).

Neste sentido, entenda-se por:

a) PARASITOS (ou PARASITÓIDES)¹ - insetos entomófagos cujas larvas desenvolvem-se sobre (ECTOPARASITO) ou dentro (ENDOPARASITO) do corpo de animais da mesma classe taxonômica, ou seja, *insecta*, terminando com a morte precoce do hospedeiro;

b) PREDADOR - Organismo que se alimenta de outro organismo de espécie diferente da dele (presa) consumindo-o e causando sua morte;

c) PATÓGENO - Organismo capaz de provocar doença em outro organismo;

Através dessas informações constatou-se a presepça de predadores (aranhas e formigas), parasitos (vespas, etc.) e patógenos (bactérias e fungo) atuando na região.

Essas informações vêm sendo analisadas em laboratórios a fim de determinar o grau de eficiência desses inimigos naturais com vistas a um controle biológico aplicado.

Entre os parasitos em estudo, destaca-se o *Bracon vulgaris* como o mais frequente na região. Esta vespa (Fig. 2.15) é um ectoparasita de larvas do bicudo. Embora não se utilize de larvas apenas do bicudo, alguns trabalhos indicam uma certa preferência pelas larvas do curculionídeo sugerindo ser este parasito um promissor agente de controle biológico (Carvalho *et al.*, 1992).

Vista a importância desse parasito e a disponibilidade de dados quantitativos que determinem seu ciclo e o grau de parasitismo com relação a larvas (Carvalho *et al.*, 1992; Pierozzi Jr. *et al.*, 1992) do bicudo, apresenta-se a seguir seu ciclo de vida (Fig. 2.16) e algumas considerações numéricas utilizadas neste trabalho.

Cita-se também, a presença de outro parasito do bicudo, *Catolaccus grandis* (Burkes) (Pierozzi Jr, 1985). Este parasito, embora encontrado em níveis populacionais baixos na Região de Campinas, é monófago de larvas do

¹O termo "Parasita" (diferente de parasito ou parasitóide) é utilizado quando o indivíduo que parasita pertence a classe taxonômica diferente da classe taxonômica do hospedeiro.

bicudo, isto é alimenta-se exclusivamente das larvas desse inseto, merecendo ser apreciado futuramente.

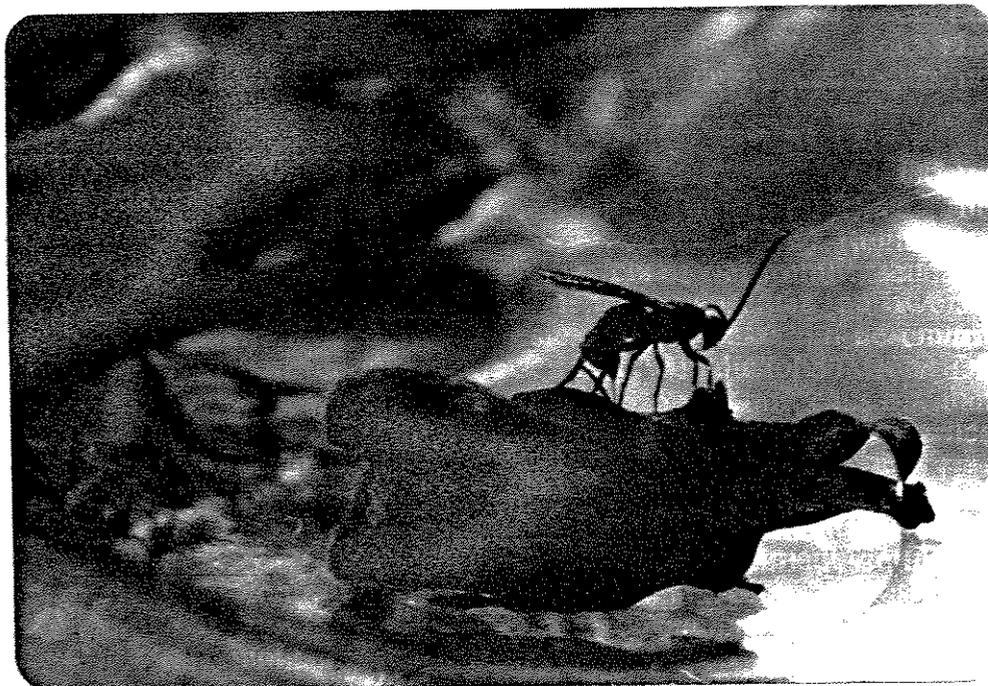


FIGURA 2.15: *Bracon vulgaris* : ECTOPARASITO DE LARVAS DO BICUDO
(Foto cedida pelo Prof.Dr. Mohamed Habib- IB/UNICAMP).

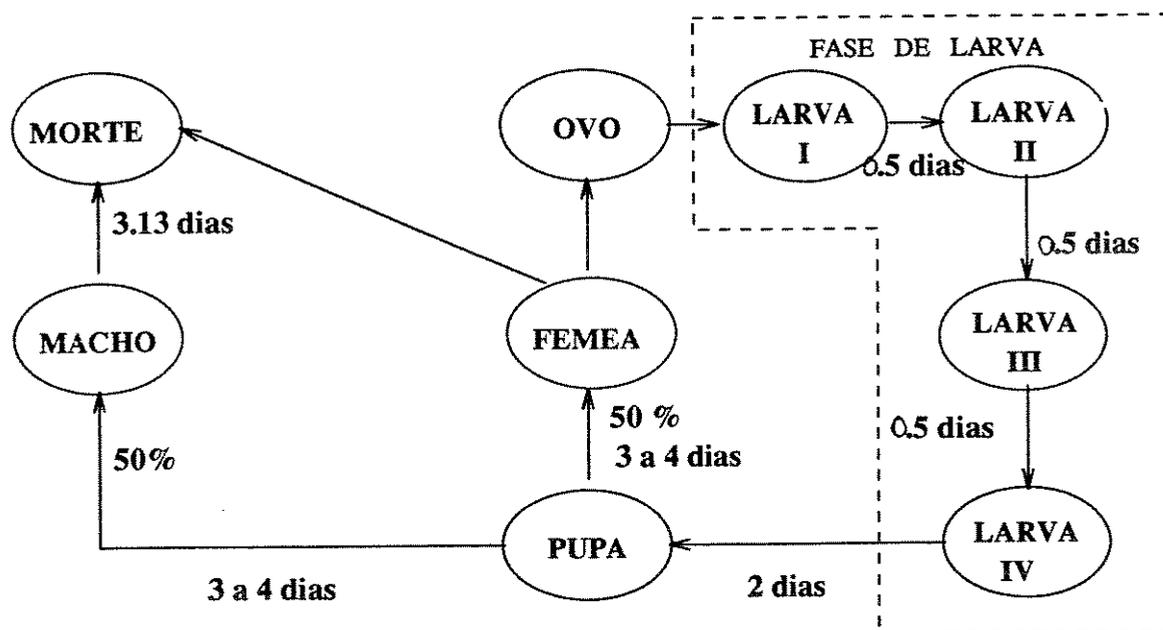


FIGURA 2.16: CICLO DE VIDA DO *Bracon vulgaris* EM CAMPINAS/SP.
(Fonte dos dados: Pierozzi Jr., 1985; Carvalho *et al.*, 1992)

2.3) O MANEJO INTEGRADO DO BICUDO PARA A REGIÃO DE CAMPINAS.

As áreas de monoculturas criadas pelo homem (agroecossistemas), como é o caso do algodão, favorecem de forma expressiva o aumento populacional de alguns insetos fitófagos, como o bicudo.

Entretanto, grande parte desses insetos não causam danos econômicos ao produtor, pois sua densidade encontra-se em baixos níveis populacionais.

Em condições ambientais propícias, na disponibilidade de alimento e, principalmente, na ausência (ou níveis populacionais muito baixos) dos inimigos naturais, estes insetos passam a desenvolver-se rapidamente, aumentando consideravelmente seu nível populacional.

Estes insetos, quando competem substancialmente pelo mesmo recurso explorado comercialmente pelo homem e a ele causam prejuízo econômico, passam a denominar-se PRAGAS (Habib, Comunicação Pessoal).

O uso indiscriminado de inseticidas na tentativa de prevenir ou contornar os ataques causados pelas pragas, acabam causando sérios impactos ambientais. Intoxicações ou anomalias genéticas no homem, resistência da praga, contaminações de lençóis freáticos e do solo, morte maciça dos inimigos naturais, favorecimento ao aparecimento de novas pragas, além de elevado custo econômico associado às aplicações do produto e à mobilização de mão de obra para sua aplicação, são alguns dos resultados negativos encontrados nesta aplicação descriteriosa.

Estudando-se as interações existentes entre a praga/planta hospedeira/meio ambiente, o homem torna-se capaz de acompanhar o nível populacional da praga e sugerir ações de controle para reduzi-la novamente a níveis aceitáveis, quando necessário.

O Manejo Integrado de Pragas é uma filosofia de trabalho direcionada para fins de controle de pragas.

Integrando aspectos econômicos, sociais, ecológicos e culturais específicos para a região onde será utilizado, vários programas de Manejo Integrado vão surgindo na tentativa de controlar o bicudo do algodoeiro. Dessa forma, podem existir várias propostas de Manejo Integrado para a mesma praga, até para a mesma Região, onde linhas diferentes de pesquisas são ressaltadas em busca do mesmo fim: a tentativa de solucionar o problema.

Sem o intuito de desmerecer outras propostas de Manejo Integrado para o bicudo do algodoeiro instalado na Região de Campinas, este trabalho utiliza-se daquela apresentada por Pierozzi Jr. (1985;1989).

Nesta proposta, o eixo principal do programa é o controle biológico natural, associado a outras técnicas, tais como a utilização de plantas iscas, de inseticida seletivo, de armadilhas de feromônio, de plantio em época pré-estabelecida e, principalmente, de remoção de restos culturais, incluindo soqueiras, no final da safra.

Assim, não basta só a presença da praga para que o combate seja iniciado. Nesta proposta, a decisão de iniciar o combate é avaliada também pela ótica financeira.

O monitoramento da população da praga, evidenciada pelos sinais de ataques deixados nas estruturas frutíferas da planta, indica se é inevitável a sua redução imediata.

O LIMIAR ECONÔMICO (LE), é a densidade populacional da praga que causaria a primeira perda estatística da produção (Habib, Comunicação Pessoal). Para a Região de Campinas, Pierozzi Jr. (1989) estabeleceu o (LE) entre 5-7% de estruturas atacadas.

Outro índice considerado no mesmo trabalho denomina-se NÍVEL ECONÔMICO DE DANO (NED), que expressa a densidade populacional da praga que causaria dano econômico equivalente ao custo de uma operação de combate (Habib, Comunicação Pessoal).

Portanto, se aguardada a tomada de ação até o NED, existirá o comprometimento financeiro de produção e custos adicionais associados ao controle por inseticida. Assim, por esta proposta, a tomada de ação é orientada pelo Limiar Econômico.

Além desses indicadores, outras medidas são orientadas para a eficiência do MIP.

Para a Região de Campinas, orienta-se que o plantio seja efetuado no período de 20 de setembro a 20 de outubro.

A utilização de plantas iscas é recomendada também neste período. Esta medida consiste no plantio antecipado em 30 dias, realizado em uma área de 5% a 10% da área total da lavoura, localizada na faixa periférica da área utilizada para o plantio comercial (Habib, Comunicação Pessoal).

Com esta antecipação na data de plantio, os botões florais encontram-se nela disponíveis antes do seu aparecimento na área de plantio comercial, passando a atrair os adultos oriundos da safra anterior para essa área específica, facilitando as ações de combate. Com o surgimento dos primeiros adultos do bicudo ou dos primeiros sinais de ataque nessa cultura isca, inicia-se a aplicação de um inseticida químico eficiente, e preferencialmente seletivo, em intervalos de 4 a 5 dias. Essas aplicações serão interrompidas quando a capacidade de atração da cultura isca se igualar com a cultura comercial (Habib, Comunicação Pessoal).

Quando o bicudo infesta a área comercial inicia-se o processo de monitoramento nesta área. Atingindo o LE, aplica-se inseticida eficiente e seletivo.

O MIP orienta, neste sentido, três aplicações consecutivas de inseticidas, com intervalo de 5 dias entre uma aplicação e outra, até a redução da população da praga a níveis aceitáveis pelos (LE) e (NED).

A fim de garantir-se a seletividade na utilização do inseticida, isto é, atingir preferencialmente a praga sem prejudicar seus inimigos naturais e outros insetos não prejudiciais presentes na lavoura, encontram-se disponíveis no

mercado os inseticidas THIODAN 350 CE (princípio ativo: ENDOSULFAN) e o IMIDAN 500 PM (princípio ativo: PHOSMET) (BUSOLI *apud* DEGRANDE, 1991).

Estes inseticidas são de contato e, portanto, atingem apenas a população adulta do bicudo. A redução da população de adultos por inseticida é de 90% no dia da aplicação. Nos dias subsequentes, o produto aplicado sofre perda de eficiência funcional econômica, de aproximadamente 7% ao dia. Ao quinto dia após a aplicação a eficiência funcional econômica não é mais verificada, tornando-se necessária uma nova aplicação do produto.

A aplicação do inseticida deve ocorrer, preferencialmente, no fim da tarde e não ser seguida por precipitações pluviométricas, que inviabilizaria os efeitos da aplicação.

Ao conjunto de 3 aplicações, espaçadas de 5 dias, dá-se o nome de **BATERIA**.

Além das pulverizações realizadas nas lavouras em formas de baterias, o MIP utiliza de outra técnica que associa efeito visual ao controle químico: as armadilhas de feromônio.

As armadilhas de feromônio são mais indicadas para o fim do ciclo do algodão e entressafra, servindo para o monitoramento de adultos e contribuindo para a mortalidade dos adultos remanescentes da safra.

O feromônio Blokaide, sintetizado a partir de estudos do feromônio de agregação já discutido na seção 2.1 B deste trabalho, é colocado na armadilha juntamente com uma pastilha de inseticida.

Sendo a armadilha da cor do botão floral, num período em que este recurso alimentar já não existe, a atração do inseto é, a princípio, visual e posteriormente química (pela atuação do feromônio).

Todo inseto capturado pela armadilha é morto.

Recomenda-se que sejam colocadas armadilhas a cada 300m ao redor de todo o campo, a fim de detectar-se focos que infestarão a lavoura (Pierozzi Jr., 1989).

A destruição dos restos culturais após a colheita também é orientada pelo MIP e, se economicamente viável, a realização de uma última pulverização seria indicada para a redução de adultos sobreviventes para a próxima safra.

Através das informações resultantes das pesquisas realizadas até o momento nesta área, já discutidas nas seções precedentes deste Capítulo, torna-se possível a compreensão do fenômeno real encontrado nas lavouras de algodão quando infestadas pelo bicudo e uma proposta de MIP, propiciando a convivência com esta praga, onde as perdas econômicas sejam minimizadas e o meio ambiente preservado.

Estas informações servirão de base para a compreensão do trabalho apresentado nesta tese, bem como dos conceitos biológicos e ecológicos

nela utilizados. Para efeito de aplicabilidade neste trabalho, das medidas orientadas pelo MIP, utilizar-se-ão apenas as técnicas de baterias químicas orientadas pelo limiar econômico, LE, e pelo nível econômico de danos, NED, bem como a inserção do parasitóide *Bracon vulgaris*, preocupando-se contudo, em permitir que outras técnicas de MIP possam vir a ser incluídas e analisadas em versões futuras. Espera-se, contudo, que as técnicas culturais indicadas pelo MIP sejam seguidas pelo conjunto de agricultores da região, a fim de que seu sucesso seja garantido.

Apresentam-se no Capítulo 3, considerações pertinentes à Modelagem Matemática, Simulação e Inteligência Artificial, utilizadas para a implementação prática deste trabalho.

CAPÍTULO 3

MODELAGEM, SIMULAÇÃO E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A raça humana sempre salientou-se pela incansável busca na aquisição de novos conhecimentos, bem como em explicar fatos. O pensamento no futuro, associado ao desejo de intuir fatos, ainda não ocorridos, através de alguns fatos já acontecidos levou o homem à BUSCA DE PREDIÇÃO. Neste contexto, os principais filósofos do século XVII (Platão, Aristóteles e Euclides, entre outros), apresentavam previsões baseadas quase que exclusivamente na Metodologia Dedutiva. Esta metodologia foi posteriormente identificada por FILOSOFIA ESPECULATIVA (Reichenbach *apud* Naylor *et al.*, 1971).

Entretanto, por volta de 1620, constatou-se que a filosofia especulativa apresentava restrições, tornando-se imprescindível reconhecer suas limitações como metodologia de previsão futura (Bacon *apud* Naylor *et al.*, 1971)

A partir deste conhecimento, surgiu a filosofia científica, também conhecida por MÉTODO CIENTÍFICO. Esta metodologia consiste basicamente de 4 etapas:

- 1- Observação do sistema físico;
- 2- Formulação de uma hipótese que tente explicar as observações do sistema;
- 3- Predizer o comportamento do sistema baseado nessa hipótese, utilizando dedução lógica;
- 4- Execução de experiências com a finalidade de testar a validade da hipótese.

Infelizmente, nem todo problema do sistema físico é passível de aplicação da Metodologia Científica. Neste caso, a simulação de sistemas torna-se uma ferramenta eficiente na substituição de etapas do Método Científico impossibilitadas de aplicação.

Dessa forma, a partir da elaboração de um modelo que represente um problema do sistema físico a ser solucionado, permite-se estudar e

analisar o comportamento do sistema modelado, ou de sub-sistemas caso existam, inferindo seu comportamento futuro.

A aplicabilidade dessa técnica é geralmente encontrada em problemas onde não é possível encontrar soluções por meio de técnicas analíticas.

Embora os resultados obtidos por simulação nem sempre garantam a otimalidade ou exatidão da solução encontrada, permitem a análise de soluções alternativas e, conseqüentemente, o estabelecimento das decisões mais úteis e operacionais para o problema simulado.

Além disso, muitas vezes ocorre a necessidade da realização de interrupções na simulação durante o período de tempo previamente determinado pelo usuário, a fim de que o especialista analise as situações apresentadas até o instante, demandando tempo.

A fim de evitar este problema, torna-se cada vez mais frequente o uso de simuladores acoplados a Módulos decisores. Dentre estes, ressaltam-se os que fazem uso da Inteligência Artificial.

Uma coleção de técnicas de Inteligência Artificial, que permite auxiliar pessoas na análise de problemas e tomadas de decisão (Harmon & King, 1985) é encontrada acopladas a simuladores com grande confiabilidade nos resultados obtidos: os sistemas especialistas.

Um sistema especialista incorpora fatos e heurísticas do problema para o qual foi elaborado, sendo, portanto, a técnica mais difundida em planejamento, diagnóstico de doenças, localização de depósitos minerais, etc. nos dias atuais.

Assim, através da conversação entre o simulador e o sistema especialista, permite-se uma simulação mais rápida e eficiente.

Fazendo uso desta metodologia, serão apresentadas a seguir, as considerações teóricas pertinentes à modelagem, simulação e inteligência artificial, posteriormente discutidas no Capítulo 4 no contexto desta tese.

3.1. A MODELAGEM DE SISTEMAS

Para entender-se os propósitos da modelagem de sistemas, convém inicialmente tecer algumas considerações.

De um modo geral, todo sistema é composto por um conjunto de objetos, ou elementos. Estes elementos podem interagir entre os próprios elementos do sistema (SISTEMA FECHADO) ou com elementos pertencentes ao seu meio externo (SISTEMA ABERTO). Os termos "ambiente do sistema" e "meio externo" são usados para descrever os objetos que estão do lado de fora do sistema, mas que interagem com ele. Neste sentido, um sistema aberto descrito somente pelas variáveis que interagem com o ambiente e, portanto,

desconhecendo-se a estrutura interna do sistema, é chamado de "CAIXA PRETA" (Murthy *et al.*, 1990).

De forma oposta, quando se é possível detalhar as entidades do sistema e seus atributos, reconhecendo variáveis e relações, bem como permitindo-se descrevê-lo com alto grau de detalhes, o sistema é chamado de "CAIXA BRANCA" ou "CAIXA TRANSPARENTE" (Murthy *et al.*, 1990).

Entretanto, se todos os detalhes do sistema real forem incluídos no processo de modelagem, certamente ocorrerá o comprometimento de sua futura execução, tornando-a limitada ou de difícil utilização. Curiosamente, o mesmo problema é verificado quando ocorre a omissão de detalhes significativos à representação e entendimento do sistema real. Vê-se, portanto, que é imprescindível estabelecer um compromisso de sensibilidade na busca da melhor descrição do sistema. Esta busca representa o aspecto arte da modelagem de sistemas (Murthy *et al.*, 1990).

Dessa forma, a descrição do sistema deve ser sua reprodução resumida, onde somente algumas de suas principais características são salientadas a fim de apresentá-lo de um modo abstrato. Quanto melhor a interpretação dada aos fenômenos envolvidos no sistema, maior exatidão será alcançada na sua descrição.

Em linguagem sistêmica, os elementos do sistema, ou seja, os componentes que o definem, são denominados ENTIDADES. As entidades apresentam características próprias que as individualizam e que denotam suas propriedades. Tais características recebem o nome de ATRIBUTOS.

Os atributos de uma entidade podem ser descritos em termos de parâmetros e variáveis.

Os PARÂMETROS são atributos intrínsecos à entidade. Geralmente são valores constantes, previamente estabelecidos para o funcionamento do sistema.

Já as VARIÁVEIS são atributos necessários para descrever as interações entre as entidades do sistema. Em muitos casos, tanto os parâmetros como as variáveis são decorrentes das teorias utilizadas para explicar o estado e o comportamento do sistema. A interação entre o sistema e seu ambiente dá-se através das teorias comuns a ambos (Murthy *et al.*, 1990). As interações entre as entidades são descritas através das RELAÇÕES que unem as variáveis das entidades que interagem entre si.

No sistema ESTÁTICO, não existe a influência do tempo atuando em nenhuma de suas entidades e, portanto, as variáveis e relações que o descrevem são independentes do tempo. Já nos sistemas DINÂMICOS, o fator tempo é importante, atuando nas variáveis e/ou relações que descrevem as alterações ocorridas no sistema ao longo do tempo.

Neste sentido, as entidades desempenham processos causadores das alterações verificadas no sistema. Estes processos são sequências de procedimentos, ou ATIVIDADES, executados durante um período de tempo determinado para sua ocorrência.

As mudanças ocasionadas pelas atividades do sistema fazem com que ocorram variações no conjunto de valores dos atributos, entidades e atividades, num dado instante de tempo, tornando-se necessário o acompanhamento dessas alterações. Assim, em cada instante de tempo é possível apresentar entidades, atributos e atividades em operação, definindo-se o ESTADO do sistema naquele instante.

Uma vez que nos sistemas dinâmicos as variáveis se modificam com o tempo, o fator tempo é de grande importância. Desse modo, permite-se representá-lo de forma CONTÍNUA ou DISCRETA, de acordo com os propósitos da modelagem.

Se o fator tempo é tratado como contínuo, então as variáveis do sistema precisam ser descritas para todos os instantes de tempo pertencentes ao intervalo de tempo de interesse.

Esta tarefa geralmente é dificultada principalmente pelo fato de que dados experimentais não permitem estabelecer qual variável está modificando-se continuamente no tempo, uma vez que estão restritos por alguma resolução de tempo finita para cada observação (Murthy *et al.*, 1990).

Dessa forma, geralmente utiliza-se a representação DISCRETA, onde as variáveis precisam ser descritas somente para instantes de tempo relevantes. Assim, a representação do tempo é expressa em um intervalo de tempo constante, onde o comportamento do sistema é apresentado somente nos instantes de tempo que definem o intervalo estabelecido.

Um MODELO, de modo geral, é uma representação de um sistema em determinada forma de linguagem.

Ressalta-se, entretanto, que não existe uma única forma de linguagem, logo não existirá uma única maneira de descrever um modelo.

Um mesmo conteúdo de informação pode ser expresso em várias formas de linguagem sem perda de significado em qualquer que seja a forma de expressão utilizada. O conteúdo da informação desse mesmo sistema, em todas as formas apresentadas para representá-lo deve ser complementar e nunca contraditório (Engel, 1984). Conclui-se, portanto, que não existirá uma única maneira de descrever um modelo do sistema.

A decisão de qual das formas de descrição é mais fidedigna à representação pretendida do sistema, está diretamente associada aos interesses envolvidos no estudo desse sistema por modelagem.

Em termos de linguagens, os modelos são classificados em FÍSICOS e MATEMÁTICOS (Guimarães, 1992).

Os modelos FÍSICOS incorporam informações e propriedades da ciência física (Guimarães, 1992). Nesta forma de representação podem-se exemplificar as maquetes utilizadas para representar edifícios, onde os modelos que os representam (maquetes) encontram-se em proporções de medidas semelhantes aos edifícios que serão construídos.

Os modelos MATEMÁTICOS são imitações abstratas, ou seja, descrições construídas em linguagem matemática, através de simplificações do sistema (Engel, 1984).

Devido a importância desse tipo de modelo para os propósitos deste trabalho, apresentar-se-á, a seguir, esclarecimentos pertinentes.

3.2. MODELAGEM MATEMÁTICA

Um modelo matemático de um sistema apresenta um conjunto de relações matemáticas existentes entre as medidas quantitativas, que representam o comportamento do sistema, e as propriedades apresentadas pelo mesmo.

O grau de representatividade das medidas quantitativas, apresentadas no modelo matemático, está diretamente associado aos propósitos e circunstâncias de validação para os quais o modelo está sendo desenvolvido.

Uma vez construído um modelo matemático de um dado sistema, possibilitar-se-á a descrição, por meio da matemática, da realidade restrita aos objetivos de sua elaboração. A partir desse instante, não se é permitido estudar o sistema original, mas sim, a descrição feita através do modelo e dos reflexos matemáticos do sistema original que ele representa.

Nos modelos matemáticos definem-se quatro elementos para sua representação, a saber: componentes, variáveis, parâmetros e relações funcionais (Naylor, 1971).

OS OBJETOS constituem os elementos que compõem o modelo, ou seja, as entidades do sistema que ele representa.

Na modelagem matemática as VARIÁVEIS são utilizadas para relacionar um componente ao outro e os PARÂMETROS, geralmente, são dados fixos que determinam o comportamento de equações ou funções para o problema em estudo.

De acordo com a sua forma de atuação no sistema, as variáveis classificam-se como EXÓGENAS, DE ESTADO e ENDÓGENAS (Naylor, 1971).

As variáveis EXÓGENAS são aquelas que possuem independência dos processos ocorridos no sistema. Embora pertençam ao sistema não sofrem suas influências. Geralmente são variáveis de entrada.

Caso a variável exógena possa ser manipulada ou controlada por elementos encarregados de decisão, ou de estabelecer o programa de ação em relação ao sistema, ela é classificada como VARIÁVEL EXÓGENA CONTROLÁVEL (OU INSTRUMENTAL).

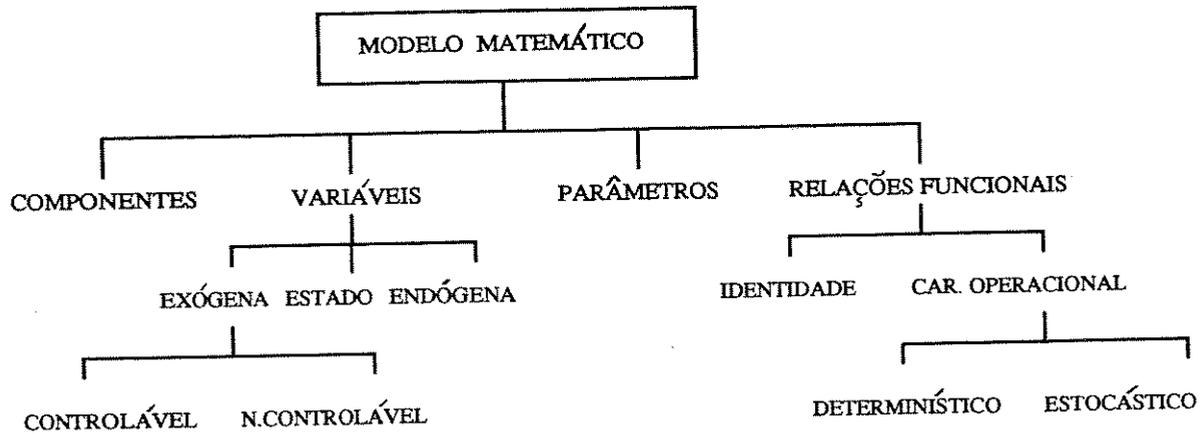


FIGURA 3.1: MODELOS MATEMÁTICOS- ELEMENTOS E CLASSIFICAÇÕES.

No caso das variáveis exógenas serem geradas pela execução do próprio sistema, elas são referenciadas por **VARIAVEIS EXÓGENAS NÃO CONTROLÁVEIS**.

As variáveis de **ESTADO** do sistema, descrevem o estado do mesmo ou de um de seus componentes, durante qualquer instante ou período de tempo estabelecido.

As variáveis **ENDÓGENAS** são aquelas geradas pela interação das variáveis exógenas e de estado de acordo com as características operacionais do sistema. São variáveis dependentes das outras variáveis do sistema e, geralmente, são variáveis de saída.

As interações existentes entre as variáveis e os componentes do modelo matemático são descritas através das **RELAÇÕES FUNCIONAIS** estabelecidas para gerar o comportamento do sistema (Naylor, 1971). Estas relações funcionais apresentam-se sob a forma de **IDENTIDADE**, ou seja, definições ou tautologias, ou sob **CARACTERÍSTICA OPERACIONAL**, onde é apresentada por uma hipótese (geralmente uma equação matemática) que relaciona as variáveis endógenas e de estado às variáveis exógenas do sistema.

A característica operacional do sistema define se o modelo é **DETERMINÍSTICO** ou **ESTOCÁSTICO**.

Os modelos DETERMINÍSTICOS não permitem aleatoriedade às variáveis endógenas e exógenas do sistema. Neste tipo de modelo, as características operacionais são relações exatas e não funções de densidade de probabilidade.

Já nos modelos ESTOCÁSTICOS pelo menos uma das características operacionais do sistema é representada por uma função de probabilidade.

Uma vez definidos os principais termos envolvidos na modelagem matemática de sistemas, resta agora salientar os principais fatores envolvidos nas etapas de sua elaboração e os benefícios decorrentes de sua utilização.

O valor de um modelo matemático para pesquisas nas mais variadas áreas de estudo concentra-se em permitir explicações, previsões de eventos e/ou fenômenos decorrentes da análise qualitativa de seus resultados e, principalmente, no acompanhamento da dinâmica dos principais elementos que compõem o sistema em estudo e suas interações. Dessa forma, um modelo bem elaborado permite determinar quali-quantitativamente em que proporções as alterações provocadas no sistema afetam outras partes importantes do mesmo ou a sua totalidade.

Um modelo matemático bem definido e fundamentado deve conter uma quantidade otimizada de informações pertinentes ao sistema real que ele representa, sem contudo perder seu realismo. Este procedimento, evita aumentar o grau de complexidade do modelo ao ponto de prejudicar sua compreensão e, principalmente, sua manipulação.

Dessa forma, a fim de auxiliar na acuidade necessária para a elaboração de modelos matemáticos, existem geralmente fases determinadas a serem seguidas no processo de sua elaboração.

Apresenta-se, a seguir, as fases envolvidas no processo de modelagem matemática (FIG. 3.2).

Dentro de um determinado sistema constata-se a existência de vários problemas a serem solucionados.

No intuito de aprofundar estudos de um dado problema do sistema, dados experimentais ou empíricos devem ser obtidos a fim de auxiliar na compreensão e descrição quantitativa dos fatores prioritários envolvidos no problema.

Aliados a esse recurso numérico de análise, teorias e publicações anteriores auxiliam no melhor entendimento do funcionamento do sistema com relação ao problema em questão.

Através desse conjunto de informações coletadas, tanto a nível quantitativo como qualitativo, torna-se possível a constatação dos fatores prioritários e o interrelacionamento existente entre eles, permitindo-se a abstração do problema. Nesta fase, são definidos os componentes (entidades e atributos) e os parâmetros do sistema.

Uma análise das atividades, refletidas nos processos executados pelo sistema, também é efetuada nesta fase.

Assim, definidas entidades, atributos e atividades, descreve-se o modelo em forma abstrata restando-nos transcrevê-lo para linguagem matemática.

Nesta nova fase, a utilização de notações simbólicas e equações matemáticas passam a representar o sistema. Os atributos tornam-se representados por variáveis do modelo matemático, assim como as atividades por funções que se interrelacionam com as variáveis.

A precisão desejada na resposta a ser obtida também deve ser levada em consideração ainda nesta fase de elaboração do modelo.

Nem sempre, na prática, as técnicas envolvendo raciocínio dedutivo da teoria matemática permitem fácil e rápida solução das equações que representam o modelo matemático do sistema. Tal fato é decorrente, muitas vezes, da complexidade envolvida na resolução de algumas equações. Quando encontrada a impossibilidade de resolução das equações de forma analítica, os métodos computacionais numéricos tornam-se necessários para solucionar o problema.

Diz-se que modelo matemático dinâmico é ANALÍTICO, quando a resolução das equações que o representam dá-se através da resolução analítica (baseada em teorias da matemática pura). Na impossibilidade de resolução teórica, quando então tornam-se necessárias aplicações de métodos computacionais numéricos, os modelos matemáticos dinâmicos classificam-se como NUMÉRICOS (Guimarães, 1992).

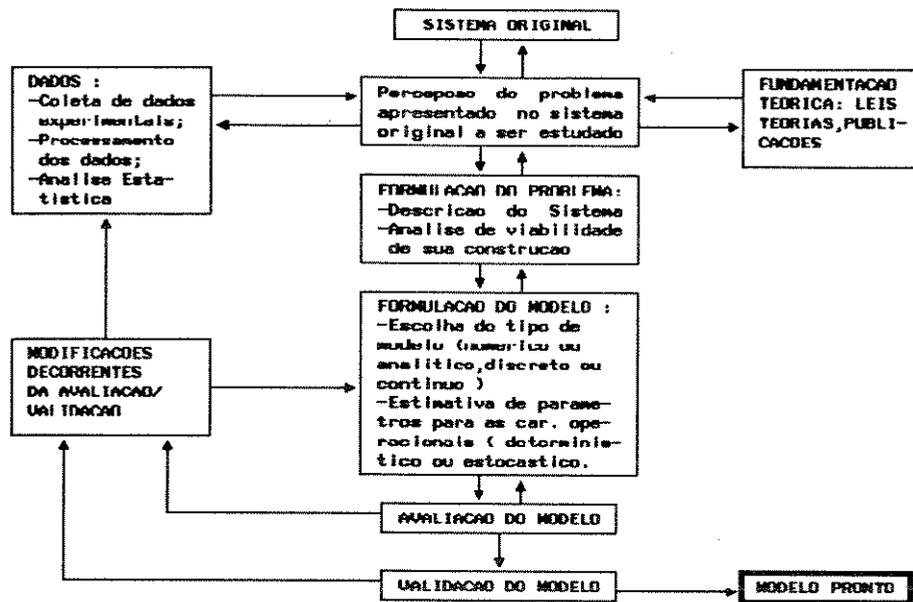


FIGURA 3.2: FASES ENVOLVIDAS NO PROCESSO DE MODELAGEM MATEMÁTICA.

Através dessa formulação inicial do modelo, estabelecida após o cumprimento das fases definidas nos parágrafos precedentes, alguns resultados decorrentes de sua utilização tornam-se disponíveis.

Segue-se uma cuidadosa análise dos resultados obtidos pelo modelo, confrontando-os com dados do sistema original.

Nesta fase, a proposta inicial de modelagem é aceita (VALIDADA), ou rejeitada, implicando na reavaliação de fatores determinantes para execução do modelo, visando a reformulação do mesmo a um grau de aproximação aceitável com o sistema original.

Esse grau de aproximação entre os dados do sistema original e os apresentados pelo modelo matemático torna-se o principal fator de aceitação do modelo como fidedigno da realidade em estudo.

Embora o modelo matemático nunca apresente o grau de aproximação em 100%, quando cuidadosamente avaliado, planejado e elaborado, permite a compreensão dos processos envolvidos no sistema original de forma detalhada, dando origem a tomada de decisões futuras mais eficientes (com menor índice de erros).

Como o computador é um excelente gerador de modelos dinâmicos, frequentemente o termo modelagem é confundido com o termo simulação. Tal equívoco é decorrente do fato da simulação de sistemas ser uma técnica computacional numérica utilizada em conjunto com modelos matemáticos dinâmicos numéricos.

Os sistemas dinâmicos são representados matematicamente, em termos de equações diferenciais e equações a diferenças. Através dessas equações permite-se a representação estrutural do modelo matemático, bem como a visualização das interações entre as variáveis que o constituem e o intervalo de tempo onde elas acontecem.

O conceito usual de tempo, como um fluxo suave sucessivo e unidirecional de eventos, é representado matematicamente por variáveis contínuas. Estas variáveis quantificam numericamente o ambiente dinâmico de tempo contínuo através de equações diferenciais (Luenberger, 1979).

Quando os eventos, e suas ocorrências, são verificados em um intervalo de tempo sequencialmente ordenado (diariamente, semanalmente, mensalmente, anualmente), o sistema passa a ser quantificado somente nesses instantes de tempo. Dessa forma, diz-se que o tempo foi DISCRETIZADO, ou que o tempo é discreto.

Esse tempo discreto, tomado em intervalos pontuais, quando representam o ambiente dinâmico do sistema, é usualmente descrito por equações a diferenças. Estas equações informam o valor de uma variável do sistema em um dado instante de tempo, com relação aos valores de tempos adjacentes.

Tanto as equações diferenciais como as equações a diferenças fornecem o elemento de dinâmica do sistema.

A) MODELAGEM MATEMÁTICA DE SISTEMAS BIOLÓGICOS

Os modelos matemáticos aplicados às ciências biológicas foram alvo de inúmeras críticas com relação aos resultados obtidos por seu intermédio.

A alta complexidade envolvida nos sistemas a serem modelados, aliada à falta de conhecimento a respeito das interações existentes entre seus elementos, não permitia a caracterização do fenômeno em termos quali-quantitativos, resultando na apresentação de modelos matemáticos altamente controlados, cujos resultados nem sempre correspondiam às situações encontradas no sistema real.

Durante muito tempo questionou-se a serventia da elaboração desses modelos, tendo em vista sua dificuldade em corresponder à realidade.

Aliado a este problema, os modelos desenvolvidos posteriormente para fins de simulação apresentavam número insuficiente de componentes para a representação do sistema real, visando evitar problemas computacionais.

Mesmo assim, alguns estudiosos no assunto continuaram insistindo na busca do aperfeiçoamento na elaboração e construção de modelos matemáticos representativos de sistemas biológicos mais confiáveis. Através desses modelos, os sistemas biológicos, por eles representados, ganhavam uma linguagem dinâmica que permitia incorporar em si a dimensão de espaço temporal (a matemática). Surge assim a BIOMATEMÁTICA descrevendo funções dos sistemas biológicos em situações envolvendo a dimensão de tempo (Engel, 1984).

Em especial, na área de ecologia (de origem grega, *oikos* = habitação, ambiente), o estudo das relações dos seres vivos entre si e com o meio ambiente (Silveira Neto et al., 1976), tornava-se alvo de investigações constantes, através de representações expressivas de suas entidades.

Esta área da ciência biológica, embora atualmente venha recebendo mais atenção, não possuía força expressiva no passado, muito embora tenham sido verificadas a atuação de alguns pesquisadores e populares que mesmo desacreditados ou ridicularizados tentavam alertar a população em geral e a própria comunidade científica sobre os danos futuros que algumas políticas de governo, técnicas ou seu uso incorreto no presente, seriam capazes de causar.

Nesse contexto, trabalhos pioneiros apresentavam o problema da dinâmica populacional baseado no contexto sócio-econômico e político da época, surgindo a área de DINÂMICA POPULACIONAL. Esta, encarrega-se de estudar populações sob o enfoque quantitativo, ao longo do tempo. Através dela, a quantidade de indivíduos da população de determinada espécie, em uma área pré-definida, é analisada com relação as dependências, diretas ou indiretas, com outros fatores do meio ambiente.

O meio ambiente pode influenciar a espécie analisada, favorecendo ou inibindo fenômenos responsáveis pelo aumento ou diminuição da população.

Através do estudo da dinâmica populacional permite-se o acompanhamento do crescimento de determinada população, auxiliando em

planejamentos mais conscienciosos e melhor distribuição de recursos financeiros. Como exemplos da aplicabilidade dos resultados obtidos de trabalhos realizados na área de dinâmica populacional encontram-se a estimativa de populações visando a previsão de : construções de casas populares (na área de engenharia civil); postos de saúde e vacinação (na área de saúde); salas de aula e merenda escolar (área de educação); safra agrícola (necessidade de estocagem e armazenagem de grãos) e o aparecimento de pragas agrícolas (diminuição de recursos alimentares; necessidade de importação de grãos para consumo interno; utilização de métodos de controle da praga), na área agrícola; entre outras.

Muitos modelos matemáticos foram apresentados na área de dinâmica populacional, alguns dos quais tornaram-se clássicos.

B) MODELOS MATEMÁTICOS CLÁSSICOS EM DINÂMICA POPULACIONAL

Os principais modelos matemáticos desenvolvidos para a área de dinâmica populacional são apresentados na tabela abaixo.

TABELA 3.1: MODELOS MATEMÁTICOS CLÁSSICOS EM DINÂMICA POPULACIONAL

CARACTERÍSTICA DE ESTUDO DO MODELO	AUTOR
Nascimento/Morte em um intervalo é proporcional ao tamanho da população no início do intervalo	T.R.Malthus (1798)
Taxa de Mortalidade da População	Gompertz (1838)
População Inibida	Verhulst (1838)
Presas-Predador	Kolmogorov (1903)
Reavaliação do modelo de Verhulst	Pearl&Read (1920)
Competição entre duas espécies	Lotka&Volterra (1925)
Presas-Predador	Volterra (1938)
Espécies únicas em metamorfose	Kostitzin (1940)
Divisão etária da população dependente da densidade Populacional	Leslie (1945)
Controle de pragas	Varley&Gradwell (1960)

O modelo apresentado por Thomas Robert Malthus em 1798 foi o precursor no estudo de estimativa de populações (Engel, 1984).

Apresentando evidências de futura explosão populacional humana gerando conseqüente competição por espaço e por alimento, caso não ocorresse controle de natalidade, este modelo refletia uma situação de caos populacional visto que a solução apresentada para o problema era reprimida pela política da época (religiosa, cultural e governamental).

Além disso, o modelo indicava fortes evidências de que a população mundial cresceria em progressão geométrica enquanto os recursos alimentares apresentar-se-iam com crescimento em progressão aritmética. Basicamente, Malthus supunha que os nascimentos e mortes ocorridos na população eram proporcionais ao seu tamanho e ao tamanho do intervalo de tempo utilizado para a verificação dos eventos.

Assim, se $x(t)$ é a quantidade de indivíduos presentes no instante de tempo t , temos no caso contínuo, a equação diferencial

$$\frac{dx}{dt} = (n-m) \cdot x(t)$$

ou se $b = (n-m)$, onde n , m são taxas de natalidade e mortalidade, respectivamente,

$$\frac{dx}{dt} = b \cdot x(t)$$

representando o modelo Malthusiano.

A solução desta equação diferencial é dada por uma família monoparamétrica de exponenciais,

$$x(t) = x(0) e^{bt},$$

onde $x(0)$ é a população no instante de tempo inicial.

Apresenta-se a seguir, a representação gráfica do Modelo de Malthus (Bassanezi *et al*, 1988) (Fig. 3.3).

No caso do modelo discreto, a representação dá-se através de equações a diferenças.

$$x(t+1) - x(t) = n x(t) - m x(t)$$

$$x(t+1) = (1+(n-m)) x(t)$$

e se $b = n-m$ tem-se que

$$x(t+1) = (1+b) x(t)$$

Segue que, dado $x(0)$, quando $t=0$ tem-se $x(1) = (1+b)x(0)$ para instantes de tempos posteriores,

$$t=1 \quad x(2) = (1+b).x(1) = (1+b).((1+b).x(0)) = (1+b)^2.x(0)$$

$$t=2 \quad x(3) = (1+b).x(2) = (1+b).((1+b)^2.x(0)) = (1+b)^3.x(0)$$

... ..

Generalizando, temos que

$$x(t) = (1+b)^t x(0)$$

representa o modelo Malthusiano no caso discreto.

O modelo de Malthus foi pessimista em prever crescimento populacional exponencial até que condições adversas, resultantes da falta de recursos, estabelecesse o limite para a subsistência da população quando, então, ela deixaria de crescer. Estas limitações de recursos, entretanto, não foram incorporadas ao modelo de Malthus.

Posteriormente, o matemático belga P. VERHULST apresenta em 1838 (Pave, 1988), um modelo baseado no de Malthus, considerando limitações de recursos e incorporando na equação o fator (inibidor) de queda de crescimento populacional à medida que a população aumenta.

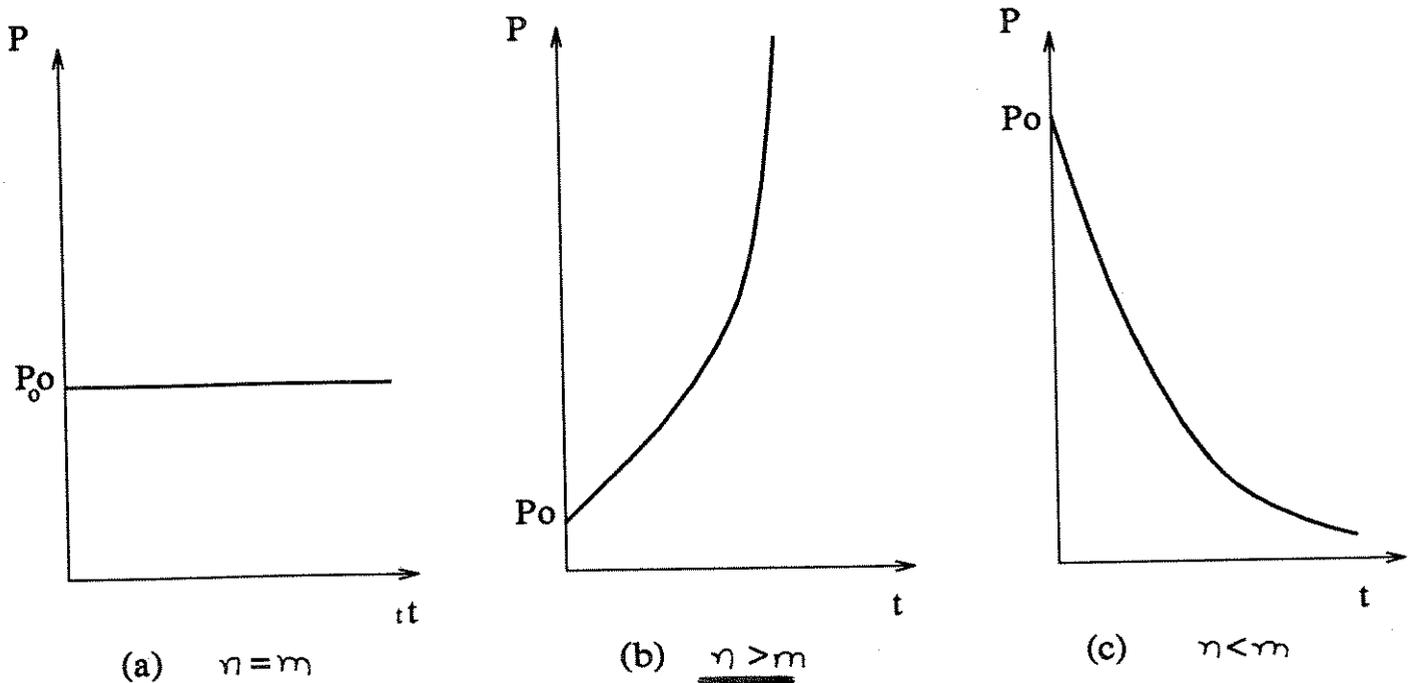


FIGURA 3.3: MODELO DE MALTHUS NOS CASOS: A) $N > M$ (CRESCIMENTO EXPONENCIAL DA POPULAÇÃO); B) $N = M$ (POPULAÇÃO INVARIANTE); C) $N < M$ (POPULAÇÃO DECRESCENTE EXPONENCIALMENTE); onde: N = Taxa de Natalidade, M = Taxa de Mortalidade. (Adaptado de Bassanezzi *et al.*, 1988).

A variação da população está sujeita a um fator de proporcionalidade inibidor, $f(x)$, o qual regula o crescimento da população.

Temos, portanto, que o modelo de Verhulst é representado pela equação diferencial

$$\frac{dx}{dt} = -b \cdot x \cdot (x - x_1) = -b \cdot x^2 + b \cdot x \cdot x_1$$

Quando $x = x_1$ ocorre a saturação. O termo $-kx^2$, regula o crescimento da população.

Esta equação possui como solução uma família monoparamétrica de sigmóides, que por permitirem o estudo da disponibilidade de recursos no crescimento da população são conhecidas também pelo nome de

LOGÍSTICAS, visto que a logística é a área da ciência que estuda a alocação de recursos naturais escassos (Engel, 1984).

A solução da equação diferencial que representa o modelo de Verhulst é dada por

$$x(t) = (b \cdot x \cdot e^{b \cdot x \cdot t}) / (c + b \cdot e^{b \cdot x \cdot t})$$

onde

$$c = b \cdot (x - x(0)) / x(0)$$

3.4. Gráficamente, o Modelo de Verhulst é apresentado na Fig.

Maiores detalhes a respeito da dedução da solução dessa equação podem ser encontrados em Bassanezzi et al. (1988), onde encontram-se, também, as deduções com relação ao modelo discreto de Verhulst.

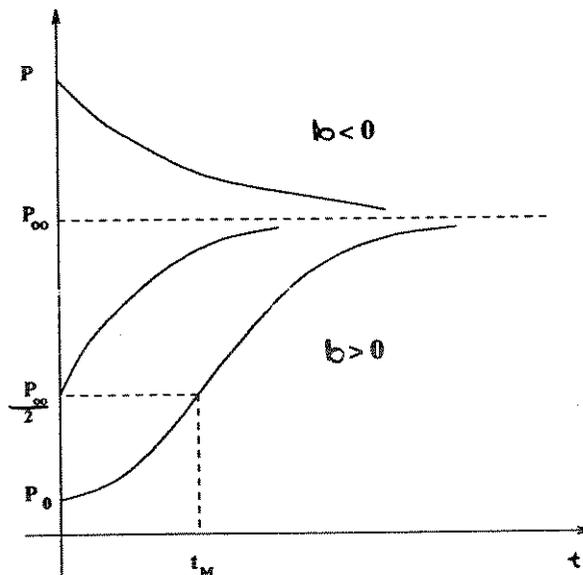


FIGURA 3.4: CURVA LOGÍSTICA. (Fonte: Engel, 1984)

O MODELO DE GOMPERTZ (1825) também é um caso especial do modelo de Malthus (quando $\ln y(t) = x(t)$).

Considerado historicamente importante, por ter sido utilizado estatisticamente como alternativa ao modelo de Verhulst.

Desenvolvido para estudar taxas de mortalidade, o modelo de Gompertz apresenta $x(t)$ como o logaritmo natural do número de indivíduos da população no instante de tempo t .

Desse modo, $x(t) = \ln.N(t)$ é representado por

$$\frac{d \ln N}{dt} = -k.(\ln N - \ln N_0) \text{ onde } 0 < N < N_0$$

ou ainda, simplificando,

$$\frac{d N}{dt} = -k.N.\ln (N/N_0)$$

A solução do modelo é apresentada por

$$y(t) = \exp ((\ln y(0)).(\exp(-kt))),$$

onde $y(t) = N(t)/N_0, 0 \leq y(t) \leq 1$

Embora os modelos de Malthus, Verhulst e Gompertz tenham sido os precursores da modelagem matemática na área de dinâmica populacional, outros trabalhos foram incorporando novos fatores aos modelos já existentes, ampliando as considerações envolvidas no sistema real representadas pela modelagem matemática.

As equações matemáticas que representam os demais modelos clássicos comentados podem ser encontradas em Engel (1984) e Bassanezi et al. (1988), entre outras obras no assunto.

Ressalta-se entretanto que nem sempre é possível acompanhar a dinâmica de uma população através de modelos que generalizavam sua população como um único conjunto de indivíduos em dado instante de tempo. A título de representação dessa problemática, ressaltam-se os modelos incorporando a atividade reprodutiva de fêmeas de determinadas espécie em estudo. Sabe-se que o nível de atividade reprodutiva da fêmea de uma espécie, geralmente varia com a idade.

Desse modo, torna-se necessário, muitas vezes, estimar o número de indivíduos presentes na população diferenciando-os pela sua faixa

etária e permitindo, assim, examinar a contribuição das características de cada grupo etário na população total.

Surgem, portanto, os modelos matemáticos populacionais compartimentais, que serão discutidos a seguir

C) MODELOS MATEMÁTICOS POPULACIONAIS COMPARTIMENTAIS

Os modelos matemáticos populacionais compartimentais representam uma determinada população distribuída em sub-grupos (ou compartimentos) que apresentam as mesmas características.

Cada COMPARTIMENTO, quando expressa uma determinada faixa etária, representa um intervalo de tempo de duração constante, onde no término do período estabelecido, os indivíduos passam para o compartimento seguinte. Este processo é evidenciado até que seja atingido o último compartimento do sistema.

O primeiro compartimento representa os membros recém-nascidos da população que ali permanecem até ultrapassar a faixa etária de permanência nele, quando então passam para o próximo compartimento e assim por diante.

Geralmente os compartimentos são indexados sequencialmente de 0 a n, onde n é a última faixa etária da população.

A descrição do modelo é feita através da verificação dos fatores responsáveis pelas alterações de compartimentos, no período de tempo estabelecido.

Os fatores de aumento ou diminuição da quantidade de indivíduos em determinado compartimento podem ser variantes de compartimento a compartimento.

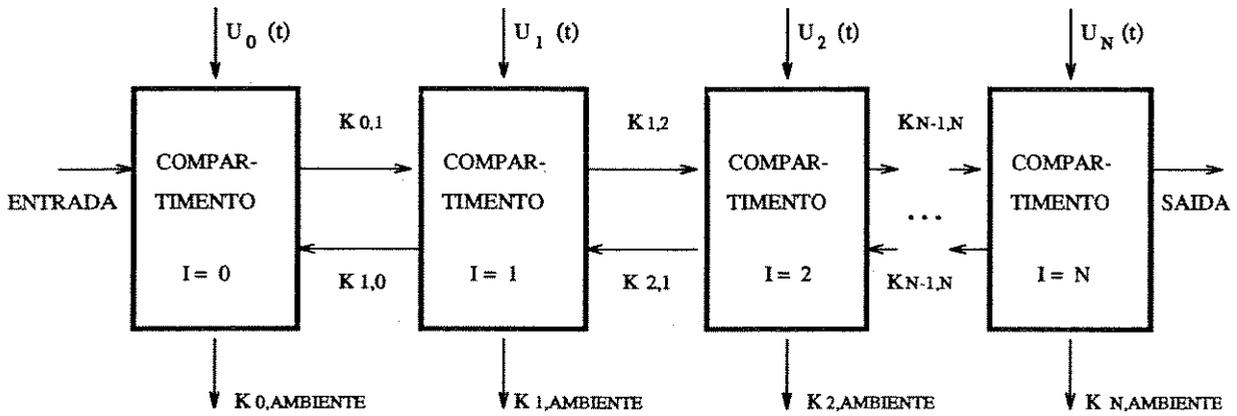
O modelo compartimental é representado por um sistema de equações a diferenças (no caso discreto), que representa o comportamento da população e a quantidade de indivíduos presentes em cada compartimento, calculada a partir de informações relativas ao instante de tempo anterior.

Desse modo, os compartimentos são unidos dinamicamente e a população total pode ser vista como uma composição de equações a diferenças e estrutura multi-variável (Luenberger, 1979).

Cada equação, representativa da dinâmica imposta ao compartimento, é unida aos compartimentos anterior e posterior, trocando entre si e com o meio ambiente, quantidades ou concentrações de materiais.

Assim, para um sistema compartimental n-dimensional (isto é, com n compartimentos) temos

Esses modelos matemáticos dinâmicos vêm sendo utilizados na representação de sistemas biológicos visando compreendê-los melhor através dos resultados obtidos por simulação.



onde:

- $k_{ij} x_i$ é o fluxo de material (ou concentração) que passa do compartimento i para o j;
- x_i é a quantidade de material (ou concentração) existente no compartimento i no tempo t;
- $k_{i, \text{amb}}$ é o fluxo de material (ou concentração) que passa do compartimento i para o ambiente;
- $u_i(t)$ é o fluxo do meio ambiente para o compartimento receptor i.

FIGURA 3.5: MODELO COMPARTIMENTAL

3.3. SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

Entenda-se por SIMULAÇÃO "o processo de construir um modelo de um determinado sistema e conduzir experimentos com esse modelo, com o propósito de entender o comportamento do sistema ou de avaliar várias estratégias dentro dos limites impostos por um critério ou conjunto de critérios para a operação do sistema" (Shanon, *apud*. Lavelha, 1990).

Assim definida, a simulação não dispensa a fase de elaboração do modelo dinâmico do sistema para sua posterior utilização.

O computador é considerado um excelente executor de modelos matemáticos dinâmicos, vista a rapidez e a precisão com que executa as determinações impostas pela sua programação (Lavelha, 1990).

Desse modo, o programa de computador apresenta a descrição do sistema (modelo). Através do programa, a linguagem matemática que descreve o modelo matemático é transcrita em linguagem computacional. Nesta nova transcrição podem-se utilizar linguagens de computador elaboradas especificamente para simulação, tais como, SIMULA, GPSS, DYNAMO, etc., dependendo do equipamento a ser utilizado, da disponibilidade de recursos para sua aquisição e, principalmente, dos objetivos da simulação.

Existe, também, a possibilidade de desenvolvimento de um programa de simulação, específico para o problema a ser simulado, em linguagens computacionais utilizadas em um contexto mais amplo. Tais linguagens, como PASCAL, C, FORTRAN, etc. permitem o desenvolvimento de um simulador, assim como de outros programas computacionais elaborados para os mais diversos fins. Neste contexto, embora gaste-se maior tempo em programação, ganha-se na relação custo/benefício visto a não necessidade de compra de um "software" específico para simulação e na maior adequabilidade de situações encontradas no sistema a ser modelado, nem sempre passíveis de reprodução em linguagens específicas.

A dinâmica do sistema é encontrada através da execução do programa computacional.

Maiores considerações quanto à simulação de sistemas são apresentadas a seguir.

A. ELABORAÇÃO DO SIMULADOR

A elaboração de um simulador normalmente segue uma sequência lógica de operações a serem cumpridas.

Acompanhando-se a Fig. 3.6, percebe-se que as etapas de elaboração de um simulador de sistemas são semelhantes às fases de elaboração de um modelo matemático. Talvez seja este o fator principal na utilização errônea do termo modelagem na referência à simuladores (ou vice-versa).

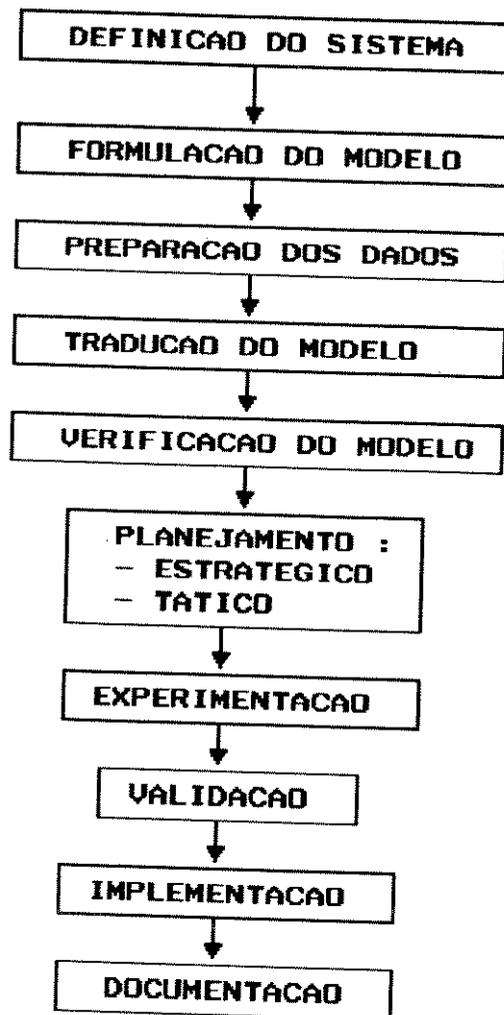


FIGURA 3.6. FASES NA ELABORAÇÃO DE UM SIMULADOR (Fonte: Lavelha, 1990)

As cinco primeiras etapas na elaboração do simulador, a saber, definição do sistema, formulação do modelo, preparação dos dados, tradução e verificação do modelo, são praticamente idênticas às fases de elaboração do modelo matemático. Nelas o sistema original é definido a fim de assegurar seu funcionamento dentro das limitações impostas pelos objetivos da simulação.

Na medida que os enfoques analisados, refletidos na natureza das informações contidas no modelo, modificam-se, vão surgindo diferentes modelos representativos do mesmo sistema (Naylor *et al.*, 1971). Esse passo resume-se na reprodução concisa, ou na abstração do sistema, a um fluxograma (diagrama lógico do fluxo das atividades a serem executadas sequencialmente).

Os dados disponíveis devem ser organizados segundo a necessidade de sua utilização no modelo e apresentados em formato apropriado.

Uma vez definidos os passos anteriores, o modelo será descrito em linguagem computacional adequada.

Pronto para execução, o programa é utilizado. Posteriormente, segue-se a verificação do grau de confiança dos resultados obtidos pela execução do programa.

A decisão de validação ou de reavaliação de pontos conflitantes, apresentados pela análise dos resultados obtidos, deve ser tomada de forma à obtenção de níveis aceitáveis ao problema real.

A simulação propriamente dita começa a partir das etapas de planejamentos estratégico e tático.

O PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO consiste em planejar o experimento a ser simulado. Posteriormente, determina-se como executar-se-á cada teste estabelecido pelo experimento em simulação. Esta etapa é denominada PLANEJAMENTO TÁTICO.

Através da geração dessa "experiência artificial", característica da simulação da situação desejada, passa-se à etapa seguinte.

Nesta etapa dar-se-á a execução da simulação definida nas etapas de planejamento.

Novamente os dados obtidos devem ser analisados em termos lógicos e de confiabilidade a fim de validação.

No caso da obtenção de respostas pertinentes, permite-se a inserção das respostas no próprio modelo em uso. Tal etapa recebe o nome de IMPLEMENTAÇÃO, onde serão incorporados ao modelo os resultados obtidos pela própria simulação.

O funcionamento correto e a adequação lógica dos resultados obtidos em sua execução permitem o redirecionamento de linhas de pesquisas em andamento, bem como a avaliação de situações novas.

A etapa seguinte consiste na DOCUMENTAÇÃO pormenorizada do projeto do simulador. Esta etapa evidencia os detalhes de elaboração do simulador, bem como apresenta orientações de uso, permitindo a atualização futura desta versão, agregando fatores diferentes dos utilizados em versões anteriores (caso existam) ou na versão atual.

B. SIMULAÇÃO: VANTAGENS E DESVANTAGENS NA SUA UTILIZAÇÃO

Antes de considerar-se a possibilidade de utilização da simulação, deve-se analisar se a construção de um modelo analítico é totalmente impraticável.

Tal advertência é feita principalmente pelo fato da simulação apresentar como resultado apenas uma informação quantitativa e nunca relações

algébricas, o que em algumas situações podem dificultar interpretações dos resultados obtidos e suas extrapolações (Lavelha, 1990).

Além disso acrescenta-se a possibilidade de inclusão de erros advindos de amostragens mal conduzidas (erros em determinação do tamanho da amostra tomada; condições iniciais irreais; baixa confiabilidade ou precisão nos dados experimentais levantados; etc.). Todos esses fatores negativos da simulação de sistemas devem ser alertados sem desmerecer os méritos de uma simulação bem elaborada e fundamentada.

A simulação de sistemas deve ser utilizada quando (Lavelha, 1990) :

- 1- não se é permitida a realização de experimentos reais no próprio sistema;
- 2- pode-se desorganizar todo o sistema quando nele se é conduzido experimentos (por exemplo, infestações incontroláveis, contaminações indesejáveis, alta radioatividade, etc.);
- 3- experimentos realizados no sistema são extremamente caros ou demorados (por exemplo, monitoramento de culturas agrícolas, reorganização de linhas de produção, etc.);
- 4- torna-se impossível a utilização de um modelo analítico para representação do sistema(a matemática ainda pesquisa soluções analíticas para um determinado tipo de equações matemáticas);
- 5- deseja-se estudar o comportamento das entidades do sistema de forma dinâmica (por exemplo, o monitoramento de populações de pragas agrícolas, etc.);
- 6- experimentos envolvem risco de vida (por exemplo, simuladores de vôos, testes automobilísticos, resistência de materiais, testes de reações nucleares, etc.);
- 7- existe a necessidade de mudanças de escalas (por exemplo, tempo em dias, em horas, em minutos, em anos, etc.);

Atualmente, novas técnicas vêm sendo incorporadas aos simuladores de sistemas a fim de aumentar sua velocidade de execução e a confiabilidade de seus resultados. Uma das maneiras de executar tal procedimento vem sendo amplamente divulgado em trabalhos desenvolvidos nas mais diversas áreas da simulação de sistemas e consiste em aplicação de técnicas de Inteligência Artificial aos simuladores.

Na seção 4 apresentar-se-á considerações quanto a área de Inteligência Artificial e suas aplicações em simulação de sistemas.

3.4. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Ainda hoje, a definição do termo inteligência mostra-se conflitante, visto a impossibilidade de explicação do mecanismo de funcionamento do pensamento humano.

Grande parte das suposições feitas a esse respeito resultam de análises baseadas na forma em que o ser humano relaciona a ocorrência de um novo fato a fatos geradores de acontecimentos ocorridos no passado.

Através da manipulação dessas informações armazenadas em seu cérebro e na associação dos fatos atuais àquelas situações já aprendidas, possibilita-se ao indivíduo efetuar inferências sobre a situação atual, na tentativa de prever acontecimentos ou tomar decisões diante da situação exposta.

O resgate rápido das informações já armazenadas, associando-as aos fatos atuais por meio de raciocínio lógico e racional, bem como a facilidade de inclusão de novos fatos aprendidos estabelece o maior grau de inteligência.

Assim sendo, resumidamente, uma das definições de INTELIGÊNCIA seria apresentada pela capacidade que o ser humano possui de aprender novos fatos, de incorporá-los naturalmente à sua memória, e de efetuar proposições e relações, diante de fatos apresentados, que o permitam raciocinar (intuir, inferir) e resgatar rapidamente as situações anteriormente aprendidas na sua reincidência.

Embora os sistemas computacionais, principalmente os desenvolvidos para armazenar grande quantidade de informações sobre determinado assunto, chamados bancos de dados, permitam ao usuário a fácil incorporação de novas informações, bem como sua rápida recuperação quando solicitadas, não são considerados programas inteligentes. Mesmo apresentando respostas eficientes diante de situações inqueridas pelo usuário, este tipo de sistema não foi desenvolvido para permitir o requerimento de novas informações por parte do usuário, visando incorporar aprendizados ou outra situação não prevista por sua programação.

Com o desenvolvimento dos computadores, da lógica formal e da psicologia cognitiva, passou-se a acreditar que dependendo da programação estabelecida para a máquina, mesmo não possuidora de inteligência, ela poderia "agir" de forma inteligente. Entretanto, o desenvolvimento desse tipo de programação apresentava custos elevados, além de não produzirem resultados suficientemente práticos, frente a complexidade envolvida na programação e os equipamentos disponíveis na época.

Ressaltam-se alguns poucos trabalhos neste período (1945-1954), considerado como o período Pré-IA.

O desenvolvimento da micro-eletrônica, fez com que a Inteligência Artificial ressurgisse.

A partir de 1956, o termo "INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL", torna-se mais discutido, surgindo o aparecimento de linguagens computacionais voltadas para suas aplicações.

A partir do trabalho de Newell & Simon, "Human problem solving", publicado no final da década de 60, a IA começa a se desenvolver e a ser redirecionada para a busca da resolução de problemas mais gerais (Newell & Simon *apud* Harmon & King, 1985).

A Inteligência Artificial passou a ser associada a um conjunto de técnicas que tentavam "simular" o processo básico do aprendizado humano, por meio do qual as novas informações são absorvidas e se tornam rapidamente disponíveis para futuras referências (Nilsson, 1980; Rich, 1983; Levine *et al.*, 1988).

Desta forma, os programas ditos "inteligentes" buscavam reunir em sua estrutura, elementos básicos do processo humano de tomada de decisão e aprendizado.

Um exemplo desse tipo de programação foi o programa ELIZA, causador de grande impacto no meio científico, quando em 1964 incorporou conceitos básicos de Inteligência Artificial (IA) permitindo ao computador atuar como um psicanalista rogeriano. A utilização do computador para este fim gerou críticas e elogios diante de questões éticas e da credibilidade nas respostas obtidas (Rich, 1983).

A falta de recursos computacionais disponíveis na época de seu aparecimento, continuava limitando as aplicações da IA, tornando-a desacreditada por alguns pesquisadores até a década de 70, quando aparecem computadores mais velozes e com maiores recursos de memória, que viabilizaram a prática da IA tornando-a um sucesso.

Concomitantemente, técnicas direcionadas a utilização de menor tempo de processamento e memória computacional foram surgindo. Assim, a IA, passa a apresentar técnicas inéditas, tais como algoritmos de ordenação mais "inteligentes", entre outras (Nilsson, 1980; Rich, 1983).

A aplicação das técnicas de IA infiltraram-se em áreas tais como processamento de linguagem natural, representação de conhecimento, reconhecimento de padrões, controle, robótica, percepção, solução de problemas combinatoriais, etc. (Nilsson, 1980; Rich, 1983; Schildt, 1989) definindo três áreas de pesquisas relativamente diferentes:

- a) desenvolvimento de programas de computadores que possam ler, falar ou entender a linguagem de conversação utilizada pelas pessoas no dia-a-dia (Processamento de linguagem natural);
- b) desenvolvimento de robôs inteligentes, estabelecendo programas que representem os sentidos como visão e tato, permitindo aos robôs observarem alterações ambientais e movimentarem-se após identificá-las;
- c) desenvolvimento de programas que utilizam o conhecimento simbólico para simular o comportamento dos especialistas humanos.

Embora a maioria destas áreas de pesquisas sejam realizadas em Universidades, a ressaltada no item c), obteve sua consagração no meio científico em geral, em 1970 com o aparecimento dos Sistemas Especialistas (SE) como o MYCIN(Stanford), HEARSAY II (Carnegie-Mellon), MACSYMA(MIT),

PROSPECTOR(SRI) , entre outros. Esta técnica de IA, é atualmente a mais difundida e aplicada nos diversos ramos da ciência.

A) SISTEMAS ESPECIALISTAS

O SISTEMA ESPECIALISTA (SE) é um sistema de Inteligência Artificial que contém informações armazenadas sobre determinado domínio do conhecimento, fornecidas por profissionais qualificados (especialistas), e que quando solicitado, analisa os fatos fornecidos, interrogando novas informações ao usuário, se necessário, para auxiliar na tomada de decisões diante do cenário apresentado (Rich, 1983; Nilsson, 1980; Waterman, 1986).

Todo (SE) é baseado em informações atuais e precisas sobre o domínio, fornecidas pelo especialista. Estas informações são armazenadas no banco de conhecimento do sistema, em forma de regras. Estas regras podem ser heurísticas, resultantes de fatos comprovados pelo especialista (Hayes-Roth, 1984; Levine *et al.*, 1988). As heurísticas são frequentemente restritas à experiência prática no domínio do sistema, e representam regras pouco discutidas, razoavelmente plausíveis e amplamente utilizadas pelos resultados satisfatórios que fornecem. Estas regras heurísticas caracterizam a tomada de decisão ao nível do especialista.

Desse modo, ressalta-se que o nível de desempenho do (SE) será inicialmente função da quantidade e da qualidade do conhecimento do problema representado pelas suas regras.

Visto o reduzido número de recursos humanos especializados, disponíveis em determinados domínios, a principal vantagem dos sistemas especialistas é que, uma vez elaborado, orientam seus usuários na tomada de decisão, de forma imparcial e rápida, dentro dos limites de seu conhecimento.

Definidos os propósitos de sua construção (objetivos), o processo de desenvolvimento de um sistema especialista passa por três etapas principais (Rich, 1983; Levine *et al.*, 1988):

- a) A elaboração da ÁRVORE DE DECISÃO do sistema;
- b) A elaboração do BANCO DE CONHECIMENTOS do sistema;
- c) A determinação do MECANISMO DE INFERÊNCIA.

É sabido que todo conhecimento adquirido em determinado domínio é determinado pelo aprendizado e reconhecimento de fatos que ocorrem em conjunto ou isolados.

Quando um cenário (fatos novos) é apresentado, a mente humana procura reconhecê-lo em situações já aprendidas, no intuito de auxiliar na tomada de decisões. Quando os fatos não são suficientes para gerar conclusões, geralmente ocorre a necessidade de mais informações, relacionadas às já apresentadas, permitindo mais opções para soluções eficientes.

Um sistema especialista funciona de maneira similar.

Uma vez definido o problema que a técnica de IA chamada de sistema especialista destina-se a resolver, deve-se esquematizá-lo a fim de que todos os seus aspectos importantes mostrem-se ressaltados e ilustrados de forma simples.

Aconselha-se, portanto, a elaboração de um diagrama, onde permite-se a visualização dos fatores considerados importantes na obtenção de cada conclusão apresentada pelo sistema.

Geralmente esses diagramas são representados como **ÁRVORES DE DECISÃO**. Este método de diagramação possui este nome devido à semelhança gráfica com a ramificação apresentada pelas árvores.

Estes diagramas são formados por círculos e retângulos chamados de **NÓS**.

Os círculos contêm as perguntas e, por isso são chamados **NÓS DE DECISÃO**. Já os retângulos contêm os objetivos do diagrama e por isso denominam-se **NÓS CONCLUSIVOS**.

Os Nós de decisão podem estar conectados a vários outros nós, de decisão ou de conclusão, através de setas denominadas **ARCOS** (ou **RAMOS**).

Uma vez respondida a pergunta de um nó de decisão, uma nova direção é tomada. A direção do diagrama é indicada pelas setas.

A árvore de decisão é particularmente útil na elaboração do Banco de Conhecimentos do Sistema.

O **BANCO DE CONHECIMENTOS** do Sistema Especialista armazena as informações adquiridas pela experiência do especialista no domínio.

Cada objeto do domínio é especificado por uma ou mais regras apresentadas no Banco de Conhecimentos. Cada uma destas regras, por sua vez, apresenta um conjunto de cláusulas (ou atributos) conectadas por operadores lógicos, cuja existência deve ser comprovada.

Para que a regra seja acionada, isto é, considerada como válida, todas as suas cláusulas devem ser satisfeitas.

No diagrama de árvore de decisão, uma regra é representada pela combinação de nós de decisão (cláusulas) ligados pelos arcos até um nó conclusivo.

O **MECANISMO DE INFERÊNCIA** é o meio utilizado pelo Sistema Especialista para a obtenção de novos fatos a serem verificados.

Esta parte do (SE) usa a informação fornecida pelo usuário para encontrar um objeto a ela associado. Caso uma das cláusulas da regra, que está sendo pesquisada, não tenha sido evidenciada pelos fatos apresentados, o (SE) poderá questionar ao usuário sua existência ou não.

De acordo com a certeza sobre a identidade dos objetos, o mecanismo de inferência poderá ser DETERMINÍSTICO ou PROBABILÍSTICO.

Se não existem dúvidas sobre a identidade dos objetos do sistema, o mecanismo de inferência é dito determinístico. Entretanto, na maioria dos problemas analisados pelos (SE), existem fatores de incerteza associados à identificação do objeto. Quando este problema ocorre, o mecanismo de inferência utilizar-se-á de probabilidades de ocorrência, passando a ser denominado, por este motivo, de mecanismo de inferência probabilístico.

O mecanismo de inferência de um sistema especialista também pode ser classificado através do método utilizado na busca do objetivo do SE, a saber, ENCADEAMENTO DIRETO, ENCADEAMENTO REVERSO E VALOR DE REGRA.

O método de ENCADEAMENTO DIRETO é utilizado quando o objetivo do sistema especialista é prever o possível resultado decorrente dos fatos que estão acontecendo.

Neste método, a máquina de inferência utiliza-se das informações fornecidas pelo usuário para movimentar-se por meio da rede de operadores lógicos até encontrar o objeto. A única maneira de encontrar o objeto (nó terminal da árvore de decisão) é satisfazer todas as regras que a ele conduzem. Caso não o encontre, novas informações serão solicitadas.

O funcionamento típico do método de encadeamento direto é apresentado na Fig. 3.7.

Utiliza-se o método do ENCADEAMENTO REVERSO, quando o propósito do sistema é o de descobrir o agente provocante (a causa) de um problema já ocorrido. Neste caso, o objetivo é selecionar entre uma variedade de alternativas (Levine *et al.*, 1988).

Este mecanismo de inferência é iniciado com uma hipótese (apresentação do objeto) e apresenta informações a serem confirmadas ou não pelo usuário. O método de encadeamento reverso também é conhecido pelo nome de DIRIGIDO POR OBJETO.

O mecanismo de funcionamento do método do encadeamento reverso é apresentado esquematicamente na Fig. 3.7.

Quanto ao método de VALOR DA REGRA, basicamente é determinado pelo fato de solicitar informações conforme a necessidade orientada pelo estado atual do sistema. Procedendo desta forma, a informação atual, requisitada ao usuário, contribuiria à próxima solicitação, minimizando a incerteza do sistema. Quando a base de conhecimentos do sistema especialista é muito grande, ele é de difícil implementação em razão do alto número de combinações necessárias para a obtenção de um objeto.

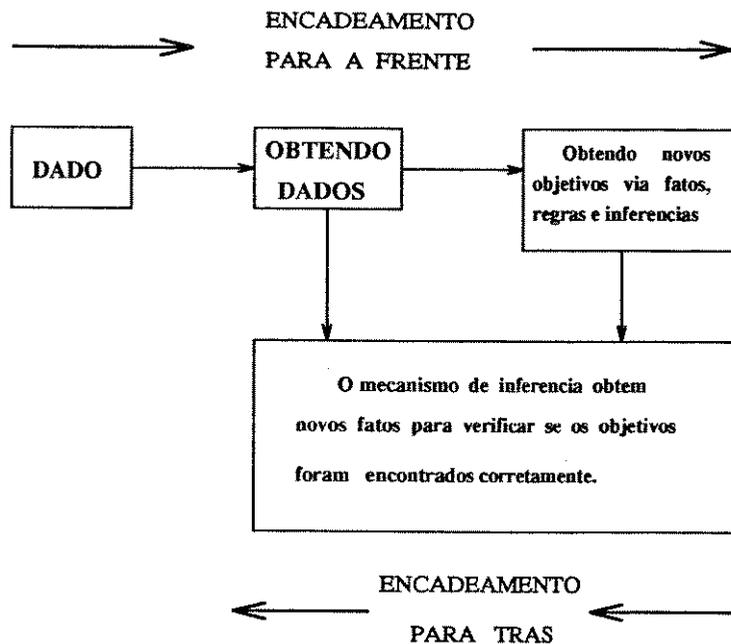


FIGURA 3.7: MÉTODOS DE ENCADEAMENTO DIRETO E REVERSO.

B) SISTEMAS ESPECIALISTAS ACOPLADOS EM SIMULADORES

A utilização de técnicas de Inteligência Artificial (IA) em simuladores iniciou-se na década de 80 (Moser, 1986; Doukids, 1987; Shanon, 1985; O'Keefe, 1986, 1987). Problemas cuja modelagem formal tornava-se insuficiente, visto a necessidade da presença do especialista humano, tornaram-se o ponto de saída para a união de sistemas especialistas e modelos matemáticos.

Através da publicação de Swann Arons (1983 *apud* Pave, 1988) fazendo menção à possibilidade de aplicação de sistemas especialistas (SE) em modelagem matemática, abriram-se novos horizontes à aplicação dessa técnica à simulação de sistemas. Naquele trabalho, a representação do conhecimento apresenta-se na forma de regras de produção. Outro trabalho, de Mylopulos e Levesque (1984), também contribuiu neste sentido, apresentando formas alternativas de representação do conhecimento.

Posteriormente, trabalhos de Rechenman (1984, 1985 *apud* Pave 1988) e Bensaid *et al* (1985), avançaram nessa área, apresentando o conhecimento do sistema sob a forma centrada a objetos. Os mecanismos de inferências utilizando-se de controladores lógicos, também foram se desenvolvendo, na tentativa de aperfeiçoar cada vez mais este dispositivo.

Magdol (1984) apresenta a distinção entre os controladores lógicos direto e fuzzy, a saber:

1) o controlador lógico direto opera de forma que termos quantitativos são determinados por conjunto de valores críticos do domínio do especialista (Vitasovich et al., 1987; Maeda, 1984);

2) o controlador "fuzzy", utiliza-se de relações de lógica nebulosa (Zadeh, 1965;1973;1983), estabelecendo funções de pertinência que fornecem valores numéricos e quantitativos a cada regra (Tong et al., 1980; Johnston, 1985).

Em 1986, Keykoffs *et al.* apresentam um trabalho relatando os benefícios da IA aplicada à simulação. Neste mesmo período, proposta de integração de IA com técnicas de Pesquisa Operacional (PO) (Simon, 1987), em especial a técnica de Programação Inteira (PI), também começam a ser analisadas por Glover(1985). A partir deste trabalho, as semelhanças e diferenças entre as técnicas de IA e as de PO começam a ser enfatizadas(Brown et.al, 1990; Dewhurst et al., 1990).

Em termos de semelhanças entre essas duas áreas, constatam-se que ambas:

1- atuam na resolução de questões relativas a problemas humanos e tomadas de decisão;

2- são altamente dependentes de computadores;

- utilizam-se de métodos gráficos, probabilísticos e heurísticos, etc.

Entretanto, ressaltam-se alguns pontos principais de diferenciação entre ambas, visto que a área de Pesquisa Operacional utiliza-se de métodos de otimização na tomada de decisão, baseados em estruturas matemáticas formais, enquanto que a área de Inteligência Artificial enfatiza a meta e o uso de um ambiente de trabalho real, que embora sejam sub-ótimos, apresentam estratégias mais próximas à "performance" humana, além de fundamentar-se na lógica que trabalha com a teoria automática.

Consequentemente, não tardaram a aparecer trabalhos explorando a integração entre IA e PO (Simon, 1987; Condor, 1988; Brown, 1990).

Na área de modelagem matemática de sistemas dinâmicos aplicados à biologia, a influência das técnicas de IA tornaram-se marcantes, culminando na criação de um clube internacional de pesquisas no intuito de concentrar esforços na obtenção de utilitários computacionais baseados em conhecimento. Surge assim, os utilitários EDORA IV (Gouze *et al* , 1984), o SHIRKA (Rechermmann, 1987), o DYNAMAC, o CROISSANCE, o SIMUL e MODEL, entre outros (Pave, 1988), cuja principal inovação em termos de suas construções mostram-se comentadas na tabela abaixo.

Além desses, outros utilitários foram surgindo posteriormente, como o DYNAMAC (estudo gráfico interativo dos sistemas diferenciais ou recorrentes (MACINTOSH), o CROISSANCE (identificação de modelos de crescimento a uma variável de estado), o SIMUL (integração numérica de um sistema diferencial n-dimensional) e o MODEL (permite uma aproximação à modelização numérica: integração, identificação, estudo de sensibilidade e pontos de equilíbrio).

TABELA 3.2: TRABALHOS QUE CONTRIBUÍRAM A APLICAÇÃO DE IA.:

CONTRIBUIÇÃO	AUTORES e/ou FATOS
Trabalhos considerados a fase de Pré- IA (1945-1954)	H.Simon : "Administrative Behavior"; N. Wiener: "Cybernetics"; A.M.Turing: "Computing Machinery and Intelligence; (Fonte: Harmon&King, 1985)"; "Macy Conferences on Cybernetics" ;
Início das Pesquisas em IA (1955-1960):	Crescente disponibilidade de computadores; aparecimento da linguagem "Information Processing Language I " (IPL-I); "General Problem Solver" (GPS)
Desenvolvimento e Redirecionamento da IA (1961-1970):	A.Newell & H. Simon: "Human Problem Solving"; Aparecimento da Linguagem LISP; Utilização de Heurísticas, Desenvolvimento da Robótica; Aparecimento e divulgação da lógica FUZZY (Zadeh, 1965)
Especialização e Sucesso da IA e descoberta dos sistemas baseados em conhecimento(1971-1980) :	MYCIN (Stanford); HEARSAY II (Carnegie-Mellon); MACSYMA (MIT); Aparecimento da Engenharia de Conhecimento; EMYCIN(Stanford); GUIDON (Stanford); Surgimento da Linguagem de programação PROLOG; Herbert Simon recebe o Prêmio Nobel;
Auge das aplicações de IA (1981- até os dias de hoje)	PROSPECTOR (SRI); E.Feigenbaum & P. McCorduck: "The fifth generation" ; INTELLECT (AIC); Redes Neurais;
Representação do conhecimento sobre a forma de regras	Swann Arons (1983); Hayes-Roth(1984)
Apresentação de formas alternativas de representação do conhecimento	Mylopoulos(1984); Levesque(1984)
Aparecimento da teoria de controladores: lógico direto e fuzzy	Magdol(1984)
Exemplos de aplicativos utilizando controladores lógico-direto	Maeda(1984); Vitasovich(1987); Andreus(1987);
Exemplos de aplicativos utilizando controlador fuzzy	Tong(1980); Beck(1980); Latten(1980); Johnson(1985)
Representação do conhecimento sob a forma centrada a objeto	Rechenmann(1984; 1985); Bensaia et al.(1985)
Proposição da representação de regras no formato IF-THEN	Waterman(1986)
Inteligência Artificial aplicada a Simulação	Shanon(1985); O'Keefe(1986; 1987); Keykoffs et al(1986); Moser(1986); Doukids(1987); Dewhurst et al. (1990);
Inteligência Artificial em Pesquisa Operacional	Simon(1987); Brown et al.(1990)
Utilitário de desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento e em representação centrada a objeto	Rechernmann(1987); SHIRKA
Modelo de crescimento elaborados a partir de uma base de modelos levando em função a descrição geométrica dos dados experimentais para escolha dos parâmetros do modelo	Gouzé et.al(1984); EDORA VI
Inteligência Artificial e Estatística	Gale (1985)

CAPÍTULO 4

PROJETO DO SIMULADOR

Neste capítulo apresentam-se o material e a metodologia utilizada na elaboração do simulador da dinâmica populacional do bicudo do algodoeiro instalado na Região de Campinas/SP.

Sua construção é baseada em 3 modelos matemáticos discretos compartimentais a saber: do bicudo (praga), do algodão (planta hospedeira) e do *Bracon vulgaris* (parasitóide do bicudo), permitindo as interações entre os modelos e o meio ambiente, e reproduzindo as situações prioritárias ao problema encontradas na lavoura.

A influência do parasitóide bracon é avaliada com relação a seu potencial de parasitismo de larvas do bicudo, representando a influência deste fator biótico do meio ambiente.

Os fatores abióticos são representados pela temperatura, expressa em unidades de graus-dia, e pela pluviosidade, representada por variáveis aleatórias com distribuições de Bernoulli e Exponencial Negativa.

Através da entrada de dados fornecida pelo usuário, o simulador é informado sobre a situação atual da lavoura.

Os dados fornecidos permitem estimar a população do bicudo, em cada fase de desenvolvimento, presente no campo, através dos sinais de ataque deixados nos botões florais e frutos verdes. Esses danos, causados por alimentação e oviposição, são calculados e apresentados também em termos percentuais de estruturas frutíferas atacadas.

Estas estimativas são apresentadas como dados iniciais do simulador e incorporadas aos respectivos modelos estabelecidos para o problema.

Iniciado o processo de simulação, dá-se sequência à dinâmica dos modelos. As interações entre os modelos compartimentais praga-planta-parasitóide passa a apresentar, quantitativamente, a evolução de suas fases de desenvolvimento dentro do sistema.

A partir dos sinais de ataque da praga dá-se nova avaliação do seu percentual de ataque. Este percentual é apresentado ao sistema especialista de orientações de controle químico seletivo acoplado ao sistema principal. Se atingido o Limiar Econômico de Dano, o sistema especialista é ativado.

Quando acionado, as orientações de controle apresentadas na base de conhecimentos do sistema especialista são confrontadas com o ambiente do sistema principal, realimentando os modelos matemáticos populacionais e dando continuidade ao processo.

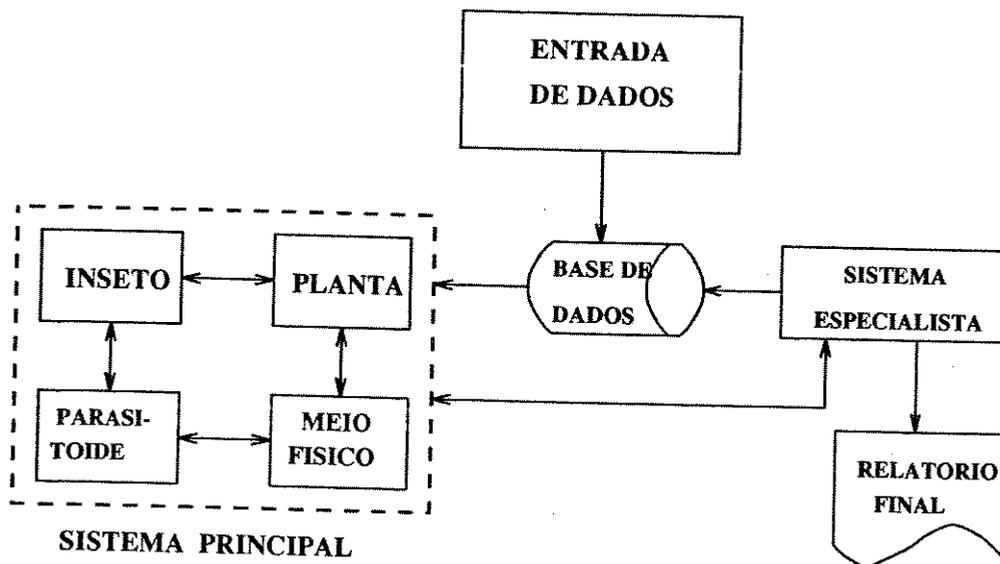


FIGURA 4.1: DIAGRAMA GLOBAL DO SIMULADOR

Antes de ser apresentada a metodologia utilizada na construção do sistema principal do simulador, envolvendo os modelos matemáticos, os fatores ambientais, e o sistema especialista, torna-se necessária a apresentação das análises dos dados disponíveis sobre o inseto e o meio ambiente. Através delas viabilizaram-se estimativas para posterior utilização no sistema principal do simulador.

Entre estas análises destacam-se:

- a) Estimativa da população colonizadora da praga, calculada a partir de evidências de ataques do inseto encontradas nas estruturas frutíferas da planta;
- b) Estimativa da quantidade de adultos da praga emergentes de frutos verdes;
- c) Estimativa dos padrões comportamentais do inseto, de acordo com a disponibilidade de recursos alimentares e ambientais disponíveis (Fases do algodão);
- d) Estimativa das curvas matemáticas que evidenciam o aparecimento de novos pontos de frutificação, o potencial de estruturas frutíferas, a disponibilidade de estruturas, a quantidade de estruturas infestadas e a análise de "stress" causado pelo inseto à planta;
- e) Estimativa dos fatores abióticos, pluviosidade e temperatura, através de análise estatística do fenômeno na região.

As considerações pertinentes à metodologia e desenvolvimento das análises apresentadas nos itens a-e são fornecidas na seção 4.1 deste capítulo.

Na seção 4.2 apresentam-se os modelos matemáticos (discretos compartimentais) do bicudo, das estruturas frutíferas do algodão e do bracon.

O simulador propriamente dito, é apresentado na seção 4.3, onde encontram-se as principais rotinas utilizadas na sua representação computacional. Nesta seção expõem-se também o sistema especialista utilizado.

4.1- ANÁLISE DOS DADOS QUANTITATIVOS DISPONÍVEIS

Grande parte das estimativas utilizadas pelos modelos compartimentais deste trabalho foram geradas a partir de dados quantitativos apresentados por Pierozzi Jr (1989, anexos) que, ao reunir evidências a respeito dos fatores ecológicos envolvidos na presença desta praga no ambiente de Campinas, contribuiu como fonte de informações quantitativas para a região no período de 1983 a 1989.

Além desse, os trabalhos de Daxl *et al.* (1977) e de Gutierrez *et al.* (1991b) também foram de grande valia.

As estimativas elaboradas a partir dessas informações são apresentadas a seguir.

A) ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO COLONIZADORA DE BICUDOS

Embora Pierozzi Jr. (1989) tenha evidenciado sinais de ataque do bicudo às estruturas do algodão (botões e frutos verdes), não evidenciou estatisticamente, em alguns casos, a presença do inseto adulto. Este fato, ocorrido na maioria das vezes no início da infestação, pode ser explicado por problemas advindos da metodologia estatística empregada na coleta dos dados, que não permitiu detectar a presença da pequena população inicial de bicudos agregada em pontos dentro da lavoura, não captados pela amostragem.

Diante desta dificuldade, a metodologia mais adequada para estimar a população colonizadora da praga deve estar baseada nos sinais de ataque deixados nas estruturas e não na quantidade de adultos observados "in locu".

Os trabalhos de Daxl *et al.*(1977) e Gutierrez *et al.* (1991a,b) apresentam o número médio de estruturas atacadas pelo curculionídeo da mesma espécie encontrada no Brasil. Daxl *et al.*(1977) apresentam o valor de 3,2 estruturas atacadas por inseto/dia e Gutierrez *et al.*(1991b) apresentam este valor

em termos de graus-dias, diferenciando sinais de alimentação e oviposição, $0,23^{\circ}\text{D}$ e $0,56^{\circ}\text{D}$ respectivamente.

Aplicando as informações de Daxl *et al.* (1977) aos dados de ataque evidenciados no trabalho de Pierozzi Jr (1989- Anexos), constata-se quantitativamente que algumas fêmeas utilizaram-se do mesmo orifício feito para alimentação para fazer oviposição no período em que os botões florais encontravam-se escassos (na razão de 4 frutos verdes para 1 botão floral). Os dados estimados reproduziram a situação encontrada nos campos experimentais de Pierozzi Jr, com 10% de erro, comprovando que no período da entrada da população colonizadora, não existiam zero adultos de bicudos presentes na lavoura, mas sim, uma população pequena, porém significativa, de 0,003 adultos por planta. Este valor, para o campo experimental do trabalho já referido, refletia uma população inicial de 150 adultos de bicudos em uma lavoura de 1 ha.

A mesma metodologia utilizada no confronto das informações de Daxl *et al.* (1977) aos dados de Pierozzi Jr. (1989) foi utilizada com relação às informações de ataque por grau-dia apresentadas por Gutierrez *et al.* (1991b), utilizando-se dados de temperaturas máxima e mínima relativos aos anos acompanhados por Pierozzi Jr. Entretanto, embora as duas metodologias não tenham apresentados índices insatisfatórios, optou-se pela metodologia de Daxl *et al.* (1977) para estimar a população colonizadora da praga a partir de danos causados às estruturas frutíferas da planta, por apresentarem menor porcentagem de erro para a região em estudo.

B) ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE BICUDOS ADULTOS EMERGENTES DE FRUTOS VERDES.

Como já discutido anteriormente, os frutos verdes apresentam 5 cavidades independentes internamente, propiciando o desenvolvimento de mais de uma larva do bicudo.

Calculou-se o número médio de indivíduos por fruto verde infestado pelo bicudo, para todos os campos experimentais onde Pierozzi Jr. utilizou o MIP. A média de indivíduos em desenvolvimento dentro de frutos verdes infestados foi calculada em faixas relativas à idade da planta. Estas faixas foram escolhidas de forma que representassem as fases de disponibilidade de estruturas do algodoeiro (Vide Fig. 2.5, Capítulo 2). A porcentagem média de frutos verdes infestados também foi calculada para as mesmas faixas etárias da planta.

Percebe-se que a infestação de frutos verdes sofre aumento gradual à medida que a disponibilidade de botões florais vai diminuindo.

Os resultados obtidos são resumidamente apresentados na Tabela 4.1.

TABELA 4.1- NÚMERO DE BICUDOS EM FRUTOS VERDES DE ACORDO COM A IDADE DA PLANTA.

IDADE DA PLANTA	Média de Indiv./FVinfest.	%FV infestados
0-42 dias	0	0
43-70 dias	0	0
71-86 dias	0	0
87-117 dias	0,82 + 0,34	6,6
118-140 dias	1,19 + 0,32	14,3
maior que 140 dias	1,19 + 0,27	21,7

Aproximando-se o fim da safra, idade da planta maior que 140 dias, o número de indivíduos por frutos verdes infestados permanece praticamente inalterado em média, mas a disponibilidade dessa estrutura frutífera também é escassa e as fêmeas da espécie diminuem o estímulo para oviposição (forte indicador quantitativo da existência de diapausa reprodutiva facultativa).

C) ESTIMATIVA DO PADRÃO DE COMPORTAMENTO DO INSETO DE ACORDO COM A DISPONIBILIDADE DE RECURSOS ALIMENTARES E AMBIENTAIS (FASES DO ALGODÃO).

O comportamento do bicudo é claramente influenciado pela disponibilidade de estruturas frutíferas do algodão, em especial na presença de botões florais.

As variedades IAC-17 e IAC-20 amplamente utilizadas no Estado de São Paulo, apresentam fases de desenvolvimento bem similares.

A predominância de determinada estrutura frutífera em dada idade da planta, permite a avaliação do comportamento do inseto dentro desta fase de desenvolvimento da cultura.

Dessa forma, nos campos experimentais onde Pierozzi Jr utilizou o MIP(1989), foram avaliadas as disponibilidades das estruturas frutíferas e o comportamento do inseto diante da disponibilidade dos recursos permitindo-se apresentar o desenvolvimento da cultura em 5 fases(Pessoa *et al.*, 1992; Pessoa *et al.*, 1993c, 1993d.). Estas fases encontram-se consistentes com informações apresentadas em Passos(1977) e Gutierrez(1986).

São elas:

FASE 0: A duração média desta fase é de 40 dias englobando o período de idade da planta até 42 dias. Compreende o período da germinação até o aparecimento dos primeiros botões florais. Nesta fase não existem botões florais ou os primeiros botões estão começando a aparecer na lavoura. Mesmo ocorrendo a presença de adultos na lavoura, neste período não existem sinais de oviposição, salvo se existirem campos vizinhos com plantio antecipado. A população colonizadora de bicudo está apenas se alimentando;

FASE 1: Compreende o período de idades da planta entre 43 e 70 dias, apresentando duração média de 30 dias. Nesta fase ocorrem botões florais na lavoura. As fêmeas já estão aptas à oviposição numa taxa média de 5,0 ovos/fêmea/planta/dia. No final desta fase começam a aparecer os primeiros frutos verdes, mas a preferência por botões florais ainda se sobressai no ataque da praga, não sendo verificadas oviposições em frutos verdes;

FASE 2: Corresponde ao período de idades da planta entre 71 e 86 dias, compreendendo geralmente o período de maior produção de botões. Existe a disponibilidade de ambas estruturas frutíferas, porém a quantidade de botões florais ainda é maior que a de frutos verdes. Entretanto sinais de oviposição e alimentação no mesmo recurso já começam a ser notados em percentagens baixas (0,5% a 1,5%). Compreende também a maior taxa de oviposição: 8,67 ovip./fem/planta/dia;

FASE 3: A fase 3 é determinada pelo período de Idades da Planta entre 87 e 117 dias. Neste período a quantidade de botões florais começa a diminuir drasticamente. Predominam os frutos verdes. As fêmeas ativas passam a ovipor em frutos verdes e cerca de 10% dos botões florais passam a apresentar ataques de alimentação e oviposição. Esta percentagem aumenta a medida que a taxa botões/frutos verdes se aproxima de 1, chegando até 40%. A taxa de oviposição é de 4,0 ovos/fêmea/planta/dia. Caso existam campos vizinhos com maior quantidade de botões pode-se verificar a ocorrência de emigração de adultos em busca do recurso. ;

FASE 4: A fase compreende o período de Idades da Planta entre 118 e 140 dias. Nesta fase as condições ambientais já anunciam o fim da safra. Mesmo na ocorrência tardia de botões florais estes são extremamente sensíveis, caindo ao solo com muita facilidade. A taxa de oviposição em botões diminui para 1,23 ovos/fêmea/planta/dia indicando numericamente alterações no comportamento das fêmeas da espécie. A este fenômeno vem sendo atribuído o termo diapausa reprodutiva facultativa (Pierozzi Jr., 1989). A oviposição em frutos verdes aumenta cerca de 10% a 15% em relação à fase anterior, bem como os sinais de alimentação neste mesmo recurso. Neste período começam a ser verificados nascimentos de mais de um indivíduo por fruto verde;

FASE 5: Esta fase compreende o período onde Idades da Planta maior ou igual a 141 dias. Compreende a entrada da entressafra. Neste período, caso existam botões tardios, o ataque é maciço chegando a 90% de ataques só para alimentação. A taxa de oviposição diminui para 0,05 ovos/fêmea/planta/dia na disponibilidade de botões ou para 0 na falta desses recursos. A oviposição em frutos verdes é de 45% continuando a serem observados mais de um indivíduo em desenvolvimento dentro deste recurso.;

D) ESTIMATIVA DAS CURVAS MATEMÁTICAS DO MODELO.

Dada a preferência do bicudo pelas estruturas frutíferas da planta do algodoeiro, torna-se necessário avaliar a disponibilidade destes recursos ao longo do período abrangido pela safra.

Neste sentido, a maior dificuldade encontrada foi a falta de dados quantitativos que representassem a evolução dos estágios fenológicos da planta do algodoeiro sem a presença do bicudo.

Em Marur(1980), é apresentado um diagrama esquemático dos estágios fenológicos da planta. A partir dele, estimou-se a quantidade média de botões florais disponíveis semanalmente na planta, sem a infestação do bicudo.

As informações resgatadas desse diagrama são apresentadas na Fig. 4.2, utilizando-se a equação:

$$\text{pot_alg}(w) = 61,44 \cdot \exp\{-0,5 \cdot ((w-52,0)/20,7)^2\} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

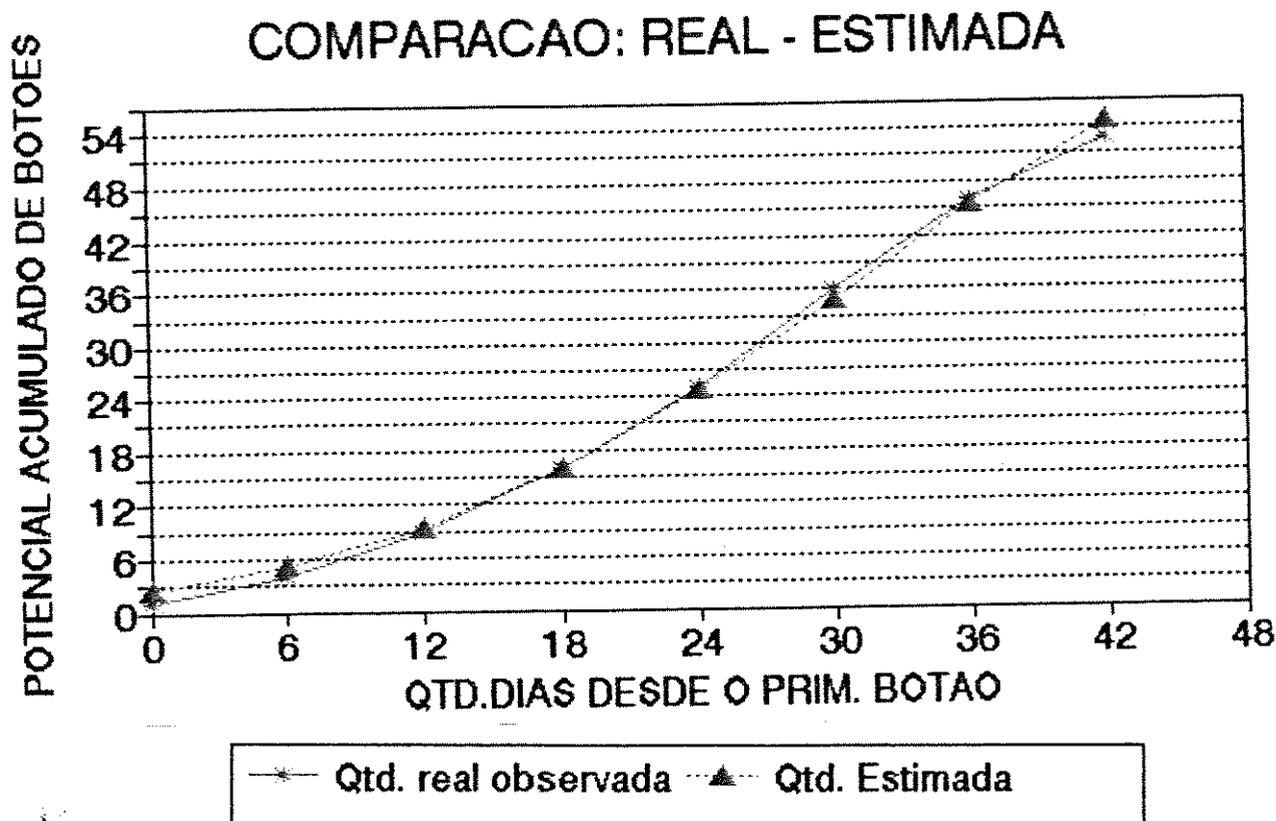


FIGURA 4.2: POTENCIAL SEMANAL DE BOTÕES FLORAIS.

Esta curva (de tendência sigmóide) é característica da cinética de crescimento das plantas, em geral, ou de suas partes (Coutinho, 1974).

A Eq. 4.1, fornece o potencial médio de botões florais para uma planta com idade w (Pessoa et al, 1993d). Esta curva foi encontrada utilizando-se o Método dos Mínimos Quadrados a partir de informações extraídas do diagrama de Marur(1980), já comentado no Capítulo 2.

Percebe-se que o processo de formação de botões florais apresenta um crescimento inicial lento, sofrendo em seguida uma aceleração acentuada e posterior desaceleração, refletido na forma da curva apresentada na Fig. 4.2 pela estabilidade do potencial de botões no período final de observações.

A partir da sétima semana, após o aparecimento do primeiro botão floral, a quantidade de botões florais passa a não sofrer alterações significativas.

Os dados de Marur(1980) não avaliaram a perda natural de botões florais por planta. Esta perda é quantificada, em média, na faixa de 60-70% dos botões florais potenciais. Dessa forma, dos 53 botões florais potenciais produzidos em média pela planta, pode-se verificar a perda natural("stress" natural), decorrente de fatores abióticos ou bióticos, de 37 botões assegurando a produção de 16 capulhos por planta, em média, no final da safra.

Trabalhando os dados de Marur(1980) encontra-se o número de botões novos em cada semana. Os resultados são apresentados graficamente na

Fig 4.3

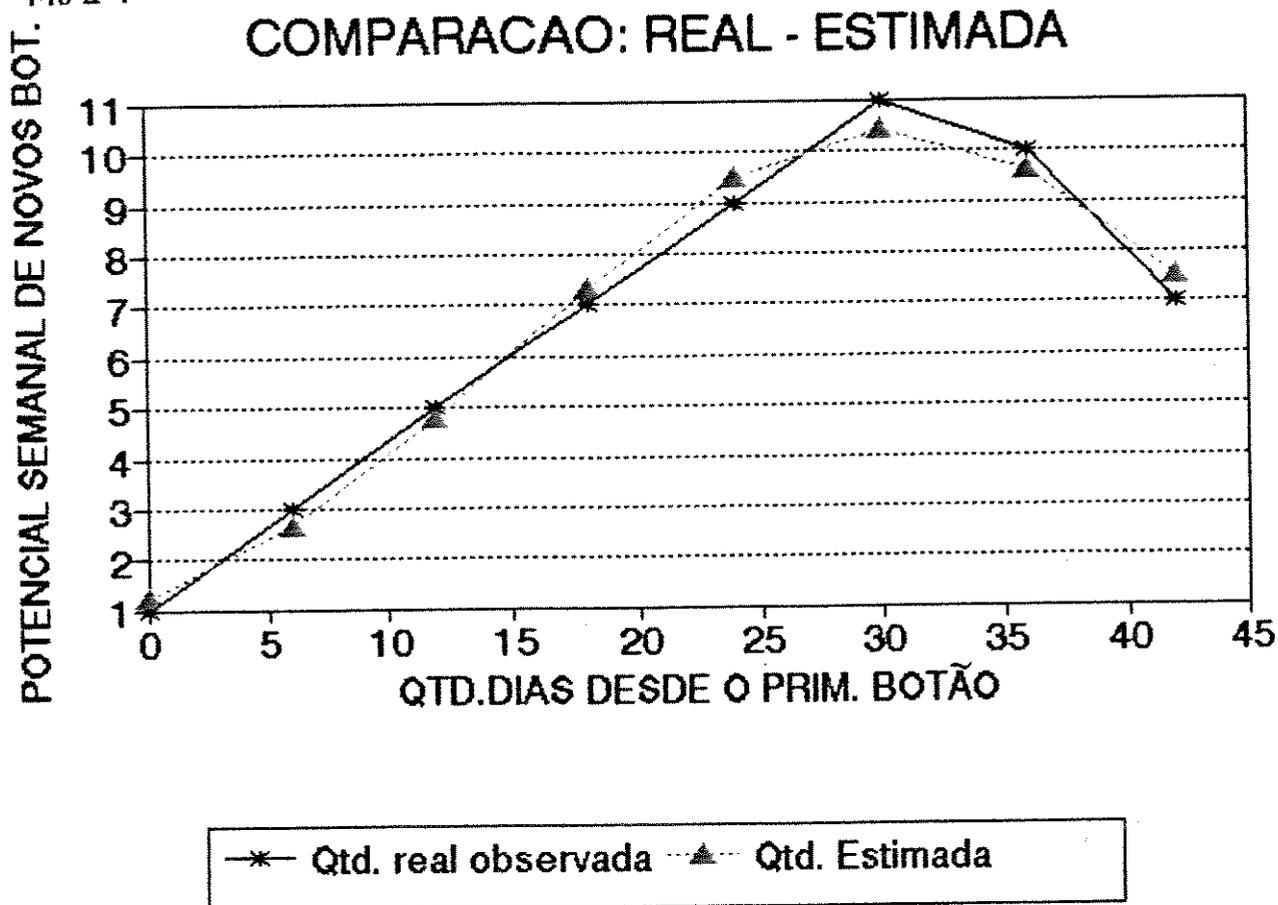


FIGURA 4.3: QUANTIDADE MÉDIA DE BOTÕES NOVOS OBSERVADAS SEMANALMENTE DESDE O APARECIMENTO DO PRIMEIRO BOTÃO FLORAL.

As diferenças ocorridas das observações de Marur(1980) entre uma semana e outra, informam a razão de aparecimento de novos botões florais na planta, apresentados na Fig. 4.3.

Nota-se que a planta produz botões novos, praticamente de forma linear, até a sexta semana, decorrido o aparecimento do primeiro botão floral na lavoura. Este período é denominado o GRANDE PERÍODO DE CRESCIMENTO DE SACHS (Coutinho, 1974).

A partir de então a quantidade de botões novos vai decaindo praticamente na mesma taxa verificada no período de crescimento, sugerindo um caráter "normal" à curva, já bem conhecido (Coutinho, 1974).

Assim sendo, empregando-se o Método dos Mínimos Quadrados estimou-se a curva "normal" que melhor representasse o fenômeno como sendo:

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

(Eq.4.2)

onde id_x é o número de dias desde o aparecimento do primeiro botão floral. A curva apresenta a quantidade de botões florais semanais recém formados na planta (Pessoa *et al.*, 1993c, d).

Verifica-se 4,8% de erro de ajuste da (Eq.4.2) aos dados obtidos por Marur (1980), mostrando-se conveniente à representação do fenômeno.

Através dessa curva normal teórica, analisou-se a razão diária de nascimentos de botões.

Sabe-se que com o aparecimento dos primeiros frutos verdes, a partir da quarta semana após o primeiro botão floral na lavoura, são esperadas alterações, provavelmente de origem fitormonal, visando a preservação desta nova estrutura para garantir a hereditariedade da espécie. Dessa forma, na mesma taxa de formação de frutos novos ocorre a queda de botões florais pequenos (Stewart *et al.*, 1989), a qual trataremos daqui por diante de perda por "stress" natural.

O gráfico resultante é apresentado na Fig. 4.4.

Derivando-se a equação (Eq. 4.2) obtemos a aceleração imposta ao nascimento de botões novos, expressa analiticamente pela equação

$$nasc_bot(id_x) = -0,0487 (id_x - 30,22) \exp\{-((id_x - 30,22)/20,68)^2\}$$

(Eq. 4.3)

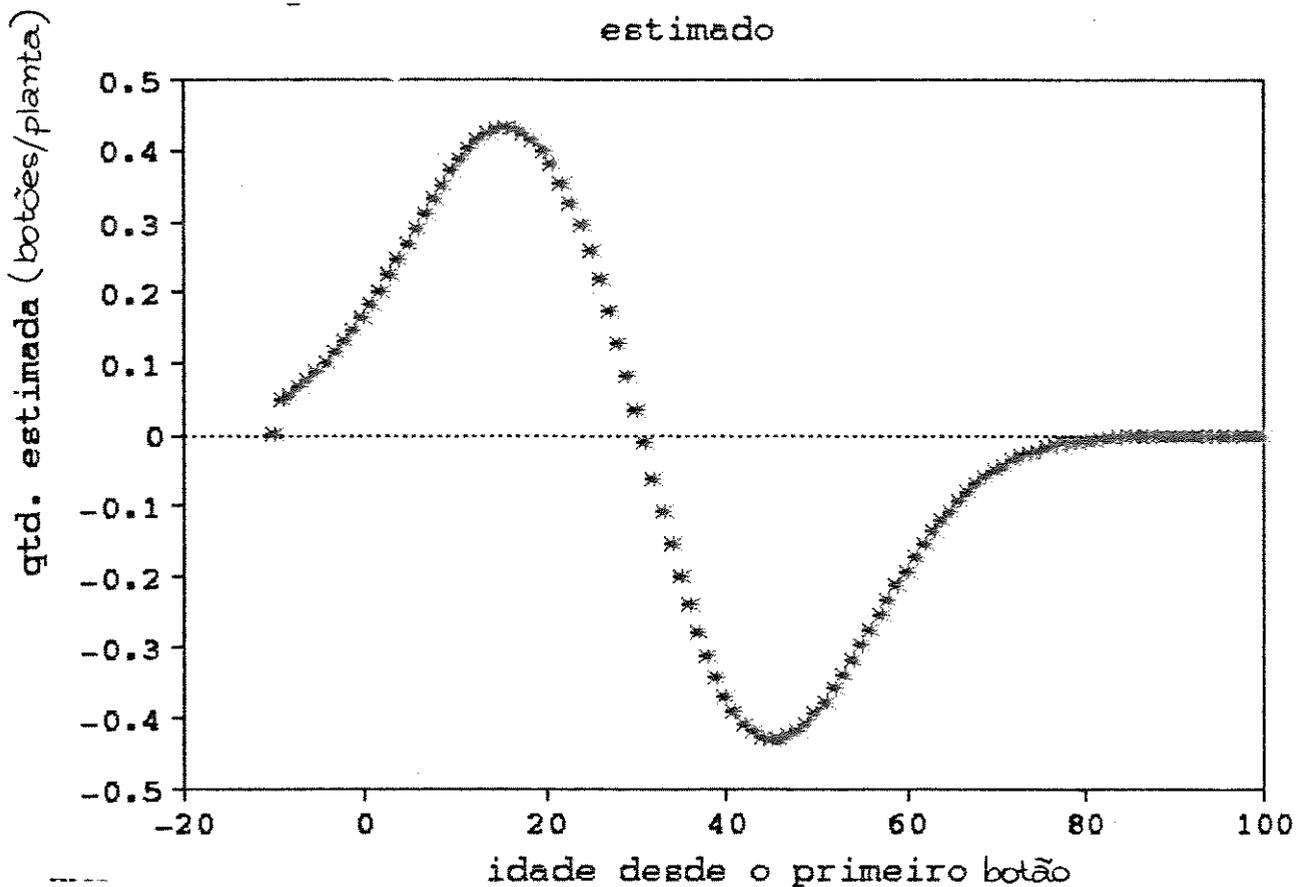


FIGURA 4.4: ACELERAÇÃO POTENCIAL IMPOSTA AO NASCIMENTO DE BOTÕES FLORAIS

Os resultados encontrados pela (Eq. 4.3) e o conceito de "stress" natural, comprovam que Marur(1980) realmente não notara o aparecimento de uma quantidade significativa de novos botões que contribuisse ao aumento do potencial de 53 botões florais já acumulados. Certamente ocorreram nascimentos de novos botões florais após a data que fixou os 53 botões florais como potencial, mas estes botões novos provavelmente caíram com facilidade devido a quantidade de frutos verdes presentes na planta (perda por "stress" natural).

Entretanto, é verificado um aumento posterior à taxa negativa de frutos verdes, fazendo com que a energia destinada a estes recursos retorne à produção de botões. Este reaparecimento tardio de botões florais ocorre na semana seguinte ao pico de frutos verdes, mas por ser fora de época possivelmente não apresentaria condições ambientais propícias para um bom desenvolvimento, e portanto, não compensariam perdas.

Dessa forma, as Equações (4.1), (4.2) e (4.3), associadas ao conhecimento dos principais fatores ambientais que as modifiquem, representam a dinâmica diária e potencial do nascimento de botões florais em uma planta do algodoeiro. Constata-se também, a interdependência entre as curvas de botões florais e de frutos verdes na representação quantitativa de seus respectivos valores reforçando a hipótese de alterações fitormonais.

E) ESTIMATIVA DOS FATORES ABIÓTICOS DA REGIÃO.

Os fatores abióticos considerados por este trabalho são pluviosidade e temperatura.

A partir de dados diários de temperatura máxima, temperatura mínima e pluviosidade, fornecidos pela Seção de Climatologia do Instituto Agrônomo de Campinas, para o período de 1983 até 1989, estudou-se o comportamento dessas variáveis visando-se avaliar o funcionamento do sistema frente a esses dados climáticos.

E1) PLUVIOSIDADE

Os dados pluviométricos diários, foram reorganizados em arquivos mensais, a fim de avaliar seu comportamento diário nos últimos sete anos. Fazendo uso do pacote computacional Q-PRO (Borland, 1991) em micro-computador tipo PC-XT, os dados foram reorganizados e analisados em termos de ocorrência ou não de precipitações pluviométricas e em faixas (em mm) de ocorrência de precipitação. Posteriormente, foram calculadas as porcentagens nos dois casos analisados. Em seguida, as médias mensais obtidas foram comparadas com médias calculadas a partir de dados publicados em suplemento agrícola de jornal (AGROFOLHA), a fim de verificar a ocorrência ou não de discrepâncias em pluviosidades ocorridas em anos não cobertos pelos dados (1990, 1992 e 1993), que inviabilizassem sua utilização. Estas discrepâncias, entretanto, não foram encontradas.

Como resultado da análise comentada no parágrafo anterior, os dados encontram-se resumidos na Tabela 4.2, em termos da ocorrência ou não de chuva.

Já a tabela 4.3 mostra a percentagem de dias no mês, onde os mm de chuva estiveram dentro das faixas estabelecidas.

Os resultados gráficos das considerações expostas nas Tab.4.2 e Tab.4.3 foram apresentados na Fig 2.11, facilitando comparações mensais.

TABELA 4.2: PORCENTAGEM DE DIAS NO MÊS COM INCIDÊNCIA OU NÃO DE CHUVA.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
NAO CHOVEU	50	54	71	75	71	84	92	85	69	80	65	53
CHOVEU	50	46	29	25	29	16	08	15	31	20	35	47

TABELA 4.3: PORCENTAGENS PLUVIOMÉTRICAS MENSAIS EM CAMPINAS/SP.

faixas (mm)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
(0-10)	48	66	42	60	60	61	72	73	68	58	58	44
(11-20)	23	15	20	21	16	27	06	12	21	23	20	27
(21-30)	15	08	19	09	10	06	17	06	05	12	08	11
(31-40)	07	03	06	04	06	06	00	03	03	02	11	16
(41-50)	04	03	06	04	03	00	00	06	00	02	00	00
(51-60)	02	01	02	00	03	00	00	00	03	02	03	00
(61-70)	01	02	02	03	00	00	00	00	00	00	00	02
(71-80)	00	00	02	00	00	00	00	00	00	00	00	00
(81-90)	00	01	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01
(91-100)	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
(101-110)	00	00	00	00	02	00	00	00	00	00	00	00

Percebe-se que as precipitações pluviométricas na região, dão-se de forma distribuídas (Vide tabela 4.3). Os dados fornecidos permitiram estimar também a pluviosidade acumulada nos meses de setembro a abril (safra do algodão), com média de 1148,12mm e, a média pluviométrica anual, 1.398,84mm. Estes valores, mostram-se satisfatórios ao plantio comercial do algodão (entre 500-1500 mm anuais).

Posteriormente, duas análises foram feitas levando-se em consideração os resultados obtidos pelas tabelas, visando encontrar parâmetros para distribuições de probabilidades que representem a ocorrência e intensidade (em mm) de precipitações pluviométricas. Para a primeira avaliação consideraram-se apenas a ocorrência ou não de precipitação pluviométrica diária aplicando-se a Distribuição de Bernoulli para representá-la e, a segunda avaliando apenas o comportamento nos dias de chuva, aplicando-se a Distribuição Exponencial Negativa não trivial.

As considerações pertinentes às duas distribuições e às análises são apresentadas a seguir.

•DISTRIBUIÇÃO DE BERNOULLI

Teóricamente a Distribuição de Bernoulli é representada pela função densidade de probabilidade $p(x)$ dada por

$$p(x) = \begin{cases} p & ; \text{ para } x=1 \\ 1-p & ; \text{ para } x=0 \end{cases}$$

A média, ou primeiro momento dessa distribuição é dada por $E\{X\}=p$ e, a variância por $V\{X\}=p(1-p)$;

Estabelecendo-se que X seja a variável aleatória representativa da probabilidade de chover, pode-se atribuir a X uma distribuição de Bernoulli, onde $X=1$ indica a não ocorrência e $X=0$ a ocorrência de chuva no dia.

Dado que a ocorrência de precipitações pluviométricas pode contribuir como fator de mortalidade de flores além de inviabilizar os efeitos inseticida na redução da população de adultos, a variável X poderia ser convenientemente representativa do fenômeno.

Analisando-se a ocorrência de chuva mensalmente registraram-se (p), probabilidade de não chover, e, (q= 1-p), probabilidade de chover, em média, com o comportamento resumidamente apresentado na tabela 4.2.

Definida a distribuição aleatória do fenômeno, as suas probabilidades de ocorrência ou não são geradas no computador.

Dessa forma, quando recebe o valor 0, o processo de funcionamento do sistema continua normalmente. Entretanto, quando X recebe o valor 1, a variável aleatória X indica a ocorrência de chuva, tornando-se necessária a determinação dos mm de precipitação do dia. Dessa forma, outra variável aleatória, Z, é acionada.

Conforme os dados apresentados na Figura 4.5, percebe-se que a variável aleatória Z possui Distribuição Exponencial Negativa não trivial. Maiores detalhes a respeito desta distribuição são apresentados a seguir.

••DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL NEGATIVA.

A distribuição exponencial negativa apresenta função densidade de probabilidade

$$p(z) = a \exp(-az) \quad , \quad \text{onde } a \text{ é constante.}$$

A média e variância desta distribuição são dadas respectivamente por

$$E\{Z\} = 1/a \quad \text{e} \quad V\{Z\} = 1/a^2$$

Entretanto, ajustando os dados mensais de frequência de distribuição de pluviosidade, nota-se que embora a distribuição seja exponencial negativa ela não é trivial.

Desta forma, tentaremos ajustar os dados pela função

$$p(z) = b \exp(-az) \quad \text{onde } a < b \text{ e } a, b \text{ constantes.}$$

Como os valores de $E\{Z\}$ e $V\{Z\}$ são registrados, torna-se possível encontrar os valores de a e b através de resolução analítica de $E\{Z\}$ e $V\{Z\}$, para esta nova função densidade de probabilidade, e a posterior resolução de um sistema de equações a duas incógnitas (a e b).

Calculando-se o primeiro momento, $E\{Z\}$

$$E\{Z\} = \int_0^{\infty} z b \exp\{-az\} dz = b \int_0^{\infty} z \exp\{-az\} dz$$

fazendo

$$u = z$$

$$du = dz$$

$$dv = \exp\{-az\} dz$$

$$v = \exp\{-az\}/(-a)$$

obtemos

$$\begin{aligned} & b \left[z \left[\exp\{-az\}/(-a) \right] + \int \left[\exp\{-az\}/a \right] dz \right] = \\ & = b \left[z \left[\exp\{-az\}/(-a) \right] + \left[1/a \cdot \int \exp\{-az\} dz \right] \right] = \\ & = b \left[-z/a \exp\{-az\} + \left[1/a \cdot (-1/a) \exp\{-az\} \right] \right] = \\ & = b \left[\exp\{-az\} \left(-z/a - 1/a^2 \right) \right] = \\ & = b \left[\left(\exp\{-\infty\} \left(-\infty/a - 1/a^2 \right) \right) - \left(\exp\{0\} \left(-0/a - 1/a^2 \right) \right) \right] = \\ & = b \left[0 - 1/a^2 \right] = b/a^2 \end{aligned}$$

Logo

$$E\{Z\} = b/a^2 \quad (\text{Eq. 4.4})$$

O cálculo da variância é apresentado abaixo.

A variância, $V\{Z\}$, é dada por

$$V\{Z\} = E\{Z^2\} - E\{Z\}^2.$$

Torna-se necessário o cálculo do segundo Momento, $E\{Z^2\}$.

Assim,

$$E\{Z^2\} = \int_0^{\infty} z^2 (b \exp\{-az\}) dz = b \int_0^{\infty} z^2 \exp\{-az\} dz$$

$$\begin{aligned} \text{se } u &= z^2 & du &= 2z dz \\ dv &= \exp\{-az\} & v &= 1/(-a) \exp\{-az\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Temos } E\{z^2\} &= b \int_0^{\infty} z^2 \cdot 1/(-a) \exp\{-az\} - \int_0^{\infty} [1/(-a)] \exp\{-az\} (2z) dz \\ &= b \left[-\frac{z^2}{a} \exp\{-az\} + \frac{2}{a} \int_0^{\infty} z \exp\{-az\} dz \right] \\ &= b \left[-\frac{z^2}{a} \exp\{-az\} + \frac{2}{a} \left[-\frac{z \exp\{-az\}}{a} - \frac{1}{a^2} \exp\{-az\} \right] \right] \\ &= b \left[\exp\{-az\} \left[-\frac{z^2}{a} - \frac{2}{a^2} z - \frac{2}{a^3} \right] \right] \\ &= b \left(\frac{2}{a^3} \right) = 2b/a^3. \end{aligned}$$

Dessa forma, a variância desejada é calculada por

$$\begin{aligned} V\{Z\} &= E\{Z^2\} - E\{Z\}^2 \\ &= 2b/a^3 - (b/a^2)^2 \\ &= b(2a-b)/a^4 \quad (\text{Eq. 4.5}) \end{aligned}$$

Através das (Eq. 4.4) e (Eq. 4.5), obtemos o sistema:

$$\begin{aligned} E\{Z\} &= b/a^2 \\ V\{Z\} &= b(2a-b)/a^4 \end{aligned}$$

(Eqs. 4.6)

com valores de $E\{Z\}$ e $V\{Z\}$ conhecidos e variantes mensalmente.

Resolvendo-se o sistema (Eqs 4.6) para os dados mensais de $E\{Z\}$ e $V\{Z\}$ obtêm-se os valores de a e b desejados. Estes valores são apresentados na tabela 4.4.

TABELA 4.4: PARÂMETROS MENSIS DAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE.

par	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
$E\{Z\}$	7.3	5.9	5.9	3.0	4.0	1.5	1.5	1.6	2.7	2.0	4.1	7.3
$V\{Z\}$	154.8	158.1	200.0	69.8	104.9	28.6	28.6	33.8	52.8	45.2	96.7	166.1
smês	12.4	12.6	14.2	8.3	10.2	5.3	5.3	5.8	7.3	6.7	9.8	12.9
a	0.069	0.061	0.05	0.076	0.067	0.10	0.10	0.086	0.089	0.081	0.073	0.066
b	0.035	0.022	0.015	0.017	0.018	0.018	0.012	0.012	0.022	0.013	0.022	0.032

A partir destas informações torna-se possível, através do método da transformação inversa, gerar valores aleatórios que apresentem distribuição de frequência dada pelas distribuições exponenciais negativas representativas de cada mês.

Os mm de pluviosidade diários de Campinas poderiam ser gerados aleatoriamente.

Desta forma, tem-se que se

$$p(z) = b \exp\{-az\} ; \quad z > 0$$

logo

$$\begin{aligned}
 F(z) &= \int b \exp\{-az\} dz = \\
 &= b \int \exp\{-az\} dz =
 \end{aligned}$$

$$= -b/a \cdot \int \exp\{u\} du =$$

$$= -b/a \exp\{-az\}$$

$$\text{onde } u = -ax$$

$$du = -a dx$$

Assim, se $R = F(Z)$ é um número aleatório, então $Z = F^{-1}(R)$.
Calculando-se $F^{-1}(R)$ temos

$$R = F(Z) = -b/a \exp\{-az\}$$

$$-aR/b = \exp\{-az\}$$

$$\ln(-aR/b) = -az$$

$$-\ln(-aR/b)/a = z$$

onde a, b são valores já calculados e R é um número aleatório.

Para que F^{-1} exista é necessário que sejam estabelecidos os limites para os quais a função F admite função inversa, ou seja:

$$-aR/b > 0 \Rightarrow aR/b < 0, \text{ com } b > 0.$$

E2) TEMPERATURA

Os dados diários de temperaturas máxima e mínima, referentes ao período de 1982 até 1989, fornecidos pela Seção de Climatologia do Instituto Agronômico de Campinas/SP, foram reagrupados em arquivos mensais de

temperaturas máxima e mínima. Dessa forma, possibilitou-se o acompanhamento das temperaturas registradas durante o período coberto pelos dados.

A Tabela 4.5, fornece os resultados obtidos.

TABELA 4.5: TEMPERATURAS MÁXIMA E MÍNIMA MENSIS REGISTRADAS NO PERÍODO DE 1982-1989 EM CAMPINAS/SP.(Valores em graus Celsius)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MEDIA	DESVIO
Tmax	29.41	29.70	29.11	27.73	25.34	23.86	24.56	26.14	26.16	28.43	28.99	28.64	27.34	+ 2.03
Tmin	19.40	19.51	18.61	17.64	15.06	12.20	12.26	13.31	14.93	16.29	17.66	18.74	16.30	+2.70
Tmed	24.41	24.61	23.86	22.69	20.20	18.03	18.41	19.73	20.55	22.36	22.33	23.69	21.74	+2.30

Considerando-se que o período da safra de algodão compreende os meses de setembro até abril, percebe-se que a média de Temperatura Máxima na safra permanece em torno dos 28.52+- 1.13 graus Celsius. O mesmo procedimento tomado com relação aos dados de temperatura mínima, fornece uma média no período da safra, em torno de 17.85 +-1.58 graus Celsius. Esses valores permitem estimar a temperatura média no período da safra, em torno de 23.06 +- 1.35graus Celsius.

Sabendo-se que o algodão é economicamente cultivado em temperaturas médias acima de 20 graus Celsius (PASSOS, 1982), percebe-se que a região de Campinas mostra-se adequada a este pré-requisito, visto suas temperaturas médias no período da safra, 23.06 +- 1.35 graus Celsius, e sua temperatura média anual, 21.74 +- 2.30 graus Celsius.

Estas médias também mostraram-se consistentes para os anos de 1990, 1991 e 1993, cujos dados de temperaturas máxima e mínima semanais foram resgatados do suplemento AGROFOLHA(Jornal Folha de São Paulo), com informações prestadas também pelo IAC/Campinas.

As médias diárias de temperaturas máximas e mínimas dos últimos anos, foram armazenadas em arquivos mensais para posterior utilização pelo simulador.

Neste trabalho, analisaram-se também as faixas de frequências absolutas mensais de temperaturas (Tab.4.6 e Tab. 4.7), possibilitando-se definir o tipo de distribuição de probabilidade que melhor represente o comportamento das temperaturas máxima e mínima na região. Através destes dados, foram calculadas as frequências acumuladas mensais utilizando-se o pacote computacional Quatro-Pro. Os gráficos foram plotados permitindo-se analisar as distribuições de frequências acumuladas mensais.

TABELA 4.6: FAIXAS DE FREQUÊNCIA ABSOLUTA DE TEMPERATURA MÍNIMA EM CAMPINAS/SP.

Faixas de Freq.Abs. (Tmin)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
[10-11)	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0
[11-12)	0	0	0	0	1	8	10	5	0	0	0	0
[12-13)	0	0	0	0	1	12	11	5	0	0	0	0
[13-14)	0	0	0	0	5	7	5	13	4	0	0	0
[14-15)	0	0	0	0	5	0	2	7	11	5	0	0
[15-16)	0	0	0	1	12	0	0	1	13	7	0	0
[16-17)	0	0	0	6	7	0	0	0	1	12	4	0
[17-18)	1	0	5	15	0	0	0	0	1	6	15	8
[18-19)	7	2	15	6	0	0	0	0	0	1	10	10
[19-20)	18	24	11	2	0	0	0	0	0	0	1	13
[20-21)	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de Dias no mês	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

TABELA 4.7: FAIXAS DE FREQUÊNCIA ABSOLUTA DE TEMPERATURAS MÁXIMAS EM CAMPINAS/SP.

Faixas de Freq.Abs. (Tmax)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
[22-23)	0	0	0	0	2	8	1	0	0	0	0	0
[23-24)	0	0	0	0	3	11	8	2	3	0	0	0
[24-25)	0	0	0	0	9	5	10	5	6	0	0	0
[25-26)	0	0	0	3	4	4	10	6	4	2	0	0
[26-27)	0	0	0	4	11	2	2	11	7	3	0	0
[27-28)	2	2	2	10	2	0	0	4	5	7	7	9
[28-29)	8	5	9	10	0	0	0	3	4	4	8	11
[29-30)	13	10	17	2	0	0	0	0	1	10	8	9
[30-31)	8	9	3	1	0	0	0	0	0	5	4	2
[31-32)	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
[32-33)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de Dias no mês	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

•DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Os resultados permitiram constatar que, para os meses de safra, a distribuição que melhor se ajustaria às temperaturas máximas e mínimas seria a Distribuição Normal. Para o período de entressafra, a curva de Distribuição

Normal também seria convenientemente utilizada, observando-se que para o caso de temperaturas mínimas, o mês de maio não obteria resultados plenamente satisfatórios e, para o caso de temperaturas máximas, os meses de maio e junho seriam os que se comportariam menos satisfatoriamente.

Como sabido, a Distribuição Normal é uma das mais importantes curvas de distribuição de probabilidade. Conhecida também pelo nome de Curva de Gauss, é representada pela equação

$$Y = (1/(\sigma\sqrt{2\pi})) e^{(-1/2(X-\mu)^2/\sigma^2)} \quad (\text{Eq. 4.7})$$

onde X = variável aleatória, μ = média, σ = desvio padrão, π = 3.14159 e e = 2.71828.

A área total limitada pela curva de Distribuição Normal (Eq. 4.7), apresenta o maior valor de probabilidade, 1. Dessa forma, áreas compreendidas entre as coordenadas a e b , por exemplo, representam a probabilidade da variável X estar situada entre os valores a e b . Em notação probabilística, seria $\Pr\{a < X < b\}$.

A Distribuição de probabilidade Normal também pode ser expressa em notação reduzida, fazendo $z = (X - \mu)/\sigma$ e substituindo z na (Eq 4.7).

Neste caso, a variável z é dita Normalmente Distribuída, com média zero e variância 1 ($N(0,1)$) e a (Eq. 4.7) passa a ser a (Eq 4.8) abaixo.

$$Y = (1/(\sqrt{2\pi})) e^{-1/2z^2} \quad (\text{Eq.4.8})$$

Visto que nos meses de safra a curva de Distribuição Normal mostra-se conveniente, torna-se facultativo ao usuário, utilizar-se de geração aleatória de temperaturas máxima e mínima diárias para a região de Campinas, segundo parâmetros mensais da distribuição apresentados abaixo.

TABELA 4.8: Parâmetros das Distribuições Normal(Erro! Indicador não definido., Erro! Indicador não definido.) para Temperaturas Máximas e Mínimas em Campinas.

MESES	TEMP. MÍNIMA		TEMP. MÁXIMA	
	μ	σ	μ	σ
Janeiro	19.40	0.40	29.41	1.27
Fevereiro	19.51	0.35	29.70	1.32
Março	18.61	0.50	29.11	0.75
Abril	17.64	0.43	27.73	0.61
Mai	15.06	0.99	25.34	1.13
Junho	12.20	1.14	23.86	1.23
Julho	12.26	1.40	24.56	1.49
Agosto	13.31	0.70	26.14	1.17
Setembro	14.93	0.86	26.16	1.97
Outubro	16.29	0.78	28.43	1.42
Novembro	17.66	0.64	28.99	0.83
Dezembro	18.74	0.40	28.64	0.93

4.2) OS MODELOS MATEMÁTICOS PROPOSTOS.

As informações levantadas sobre a planta do algodão, o bicudo e o *Bracon vulgaris*, reunidas e já discutidas no Capítulo 2, foram reorganizadas e apresentadas como modelos matemáticos discretos do tipo compartimental(cuja forma já foi discutido no Capítulo 3), apresentados a seguir.

A Figura 4.5 apresenta uma forma resumida das interações existentes entre o bicudo, as estruturas frutíferas da planta e o *bracon*. Juntamente com a Fig. 4.6, onde apresentam-se as entidades do simulador, devem auxiliar na compreensão dos modelos apresentados a seguir.

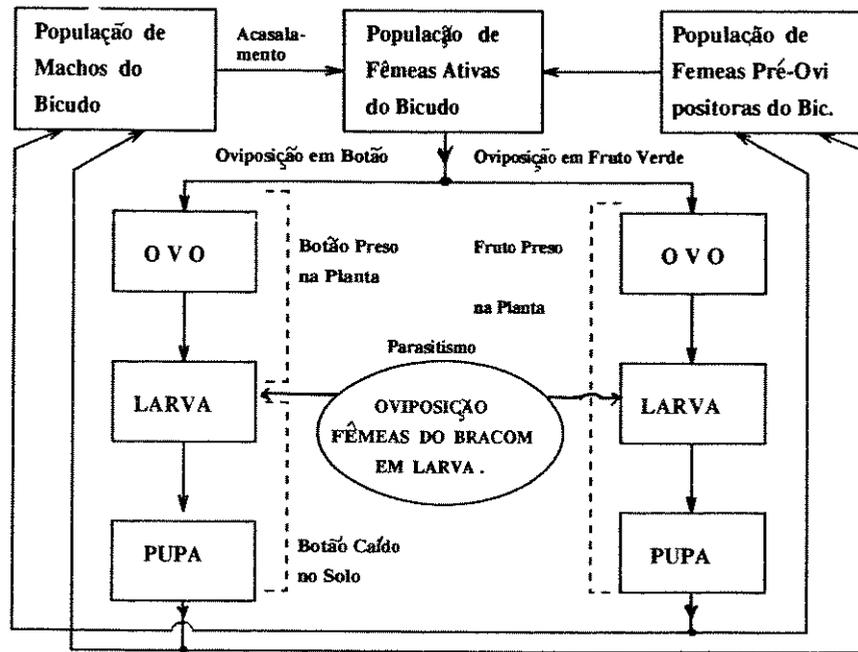


FIGURA 4.5: INTERAÇÕES EXISTENTES ENTRE O BICUDO, A PLANTA E O BRACON

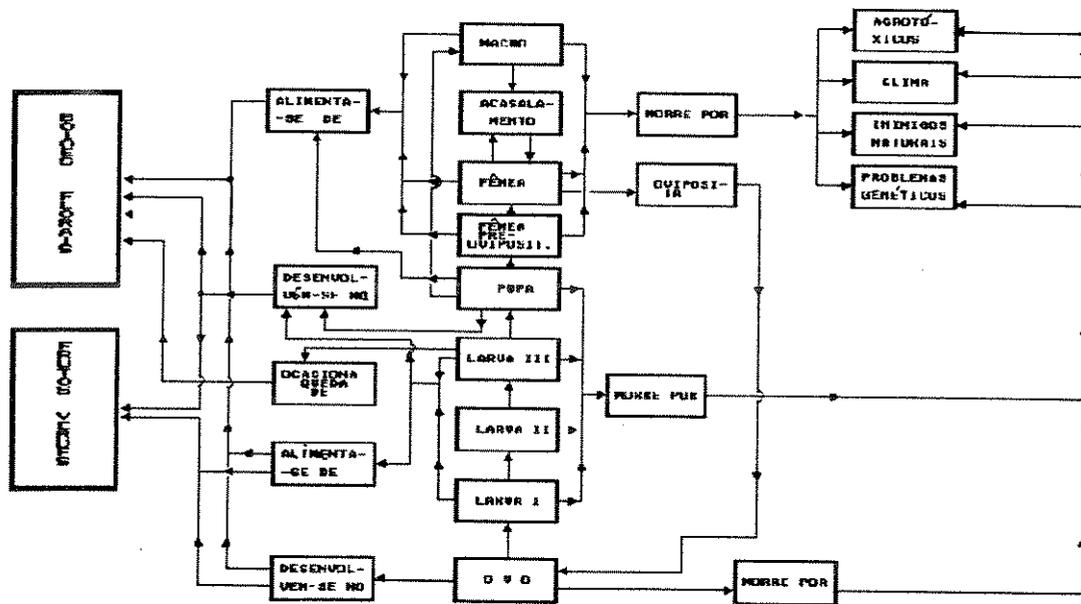


FIGURA 4.6: ENTIDADES DO SIMULADOR REFERENTES AO BICUDO E SUAS ESTRUTURAS PREFERENCIAIS.

•) MODELO MATEMÁTICO DO BICUDO.

Baseado no ciclo evolutivo do inseto, desenvolveu-se um sistema de equações para representar o bicudo, matematicamente, em termos populacionais. Este modelo matemático discreto compartimental é probabilístico, visto que estima a quantidade de estruturas frutíferas preferenciais para oviposição e alimentação do inseto e delas se utiliza de acordo com sua disponibilidade (Pessoa *et al.*, 1992b; Pessoa *et al.*, 1993 c,d).

A Figura 4.7 apresenta os principais fatores envolvidos no aumento ou diminuição da população do inseto, permitindo auxiliar a compreensão do sistema de equações que representa o inseto.

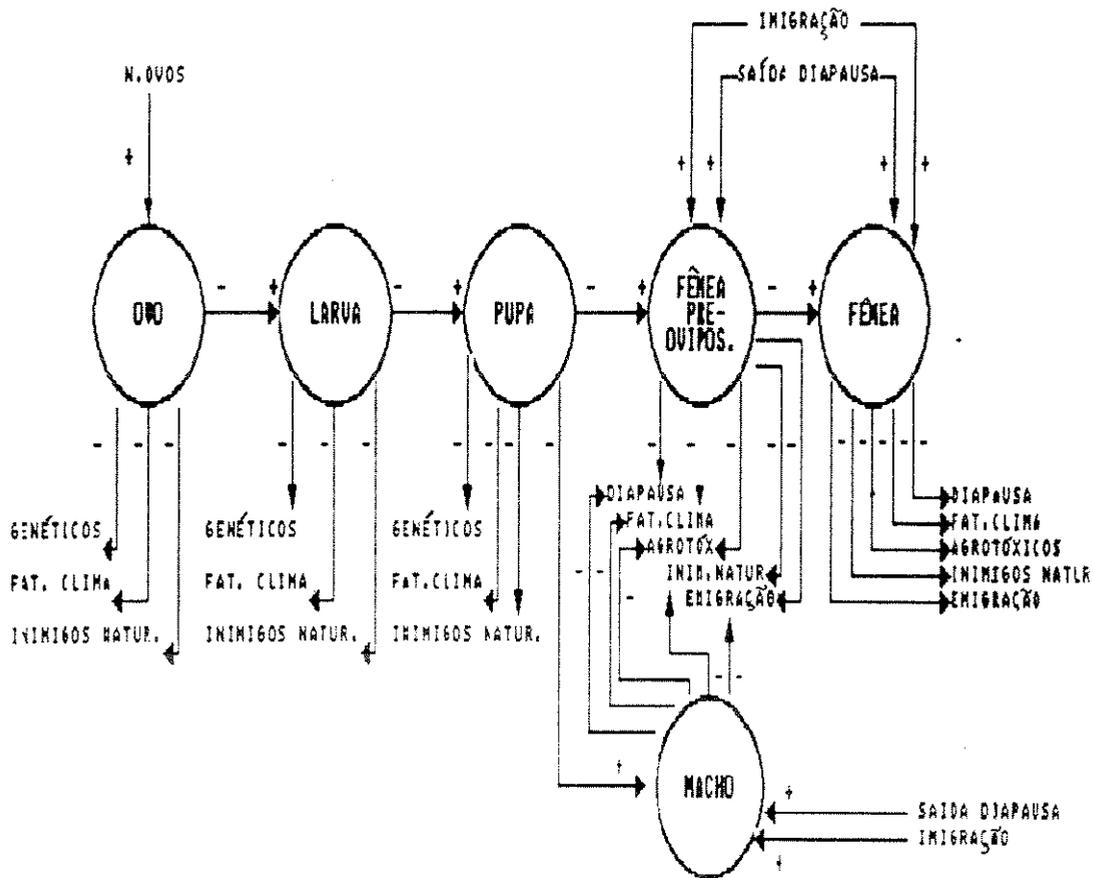


FIGURA 4.7: PRINCIPAIS FATORES ENVOLVIDOS NO AUMENTO E NA DIMINUIÇÃO POPULACIONAL DO BICUDO ANALISADOS POR ESTE TRABALHO.

Equações do modelo do bicudo:

$$OVO_BOT[t+1] = (ovip * FEM_AT[t] * (\Sigma Pref * disp[t]) + ((1-fataus_ovo) * OVO_BOT[t] - (Ppassou_ovo_bot * OVO_BOT[t]))$$

$$LAR_BOT[t+1] = +(Ppassou_ovo_bot * OVO_BOT[t]) + ((1-fataus_lar) * LAR_BOT[t]) - (Ppassou_lar_bot * LAR_BOT[t]);$$

$$PUP_BOT[t+1] = +(Ppassou_lar_bot * LAR_BOT[t]) + ((1-fatus_pup) * PUP_BOT[t]) - (Ppassou_pup_bot * (rs) * PUP_BOT[t]) - (Ppassou_pup_bot * (1-rs) * PUP_BOT[t]);$$

$$FEM_PRE[t+1] = +(Ppassou_pup_bot * (rs) * PUP_BOT[t]) + (Ppassou_pup_fv * (rs) * PUP_FV[t]) + ((1-fataus_fem_pre) * FEM_PRE[t]) - (Ppassou_fem_pre * FEM_PRE[t]) + (fataum_adulto * FEM_PRE[t]);$$

$$FEM_AT[t+1] = (Ppassou_fem_pre * FEM_PRE[t]) + ((1-fataus_adulto) * FEM_AT[t]) + (fataum_adulto * FEM_AT[t]);$$

$$MACHO[t] = (Ppassou_pup_bot * (1-rs) * PUP_BOT[t]) + (Ppassou_pup_fv * (1-rs) * PUP_FV[t]) - ((1-fataus_adulto) * MACHO[t]) + (fataum_adulto * MACHO[t]);$$

$$OVO_FV[t+1] = (ovip * FEM_AT[t] * (\Sigma Pref * disp[t]) + ((1-fataus_ovo) * OVO_FV[t] - (Ppassou_ovo_fv * OVO_FV[t]))$$

$$LAR_FV[t+1] = +(Ppassou_ovo_fv * OVO_FV[t]) + ((1-fataus_lar) * LAR_FV[t]) - (Ppassou_lar_fv * LAR_FV[t]);$$

$$PUP_FV[t+1] = +(Ppassou_lar_fv * LAR_FV[t]) + ((1-fatus_pup) * PUP_FV[t]) - (Ppassou_pup_fv * (rs) * PUP_FV[t]) - (Ppassou_pup_fv * (1-rs) * PUP_FV[t]);$$

onde:

OVO_BOT= bicudos na fase de ovo em desenvolvimento no botão;

LAR_BOT= bicudos na fase de larva em desenvolvimento em botão;

PUP_BOT= bicudos na fase de pupa em desenvolvimento em botão;

FEM_PRE= fêmeas pré-ovipositoras do bicudo ;

FEM_AT= fêmeas ativas do bicudo;

MACHO= macho do bicudo

OVO_FV= bicudos na fase de ovo em desenvolvimento no fruto verde

LAR_FV= bicudos na fase de larva em desenvolvimento em fruto verde;

PUP_FV= bicudos na fase de pupa em desenvolvimento em fruto verde

rs= razão sexual de fêmeas de bicudo na população;

ovip= número de ovos/fêmea de bicudo/planta/dia;

fataus_* = fatores que contribuem para a mortalidade ou ausência da população na fase * (pode ser inimigos naturais, inseticida, mortalidade natural, entrada em diapausa, emigração);

fataum_* = fatores que contribuem para o aumento populacional na fase de desenvolvimento * do bicudo (pode ser imigração, saída de diapausa,

Ppassou_* = Porcentagem da população * que passará para a fase seguinte de desenvolvimento;

pref = preferencias de estruturas para ataque levando-se em conta a disponibilidade das mesmas, após ordenação;

disp* = estruturas frutíferas do algodão de tipo *, disponíveis na planta , sem ataque.

t+1 = dia atual de simulação;

••) MODELO MATEMÁTICO DA PLANTA DO ALGODOEIRO.

O modelo matemático da planta do algodoeiro é discreto, compartimental e determinístico (Pessoa *et al.*, 1992a;1993a,b). Baseia-se nos dados médios potenciais de aparecimento das estruturas frutíferas da variedade IAC-17/IAC-20 apresentadas por Marur (1980), sem o ataque do bicudo.

Os fatores de aumento e/ou diminuição da quantidade de estruturas da planta, analisados por este trabalho, são apresentados na Fig.4.8.

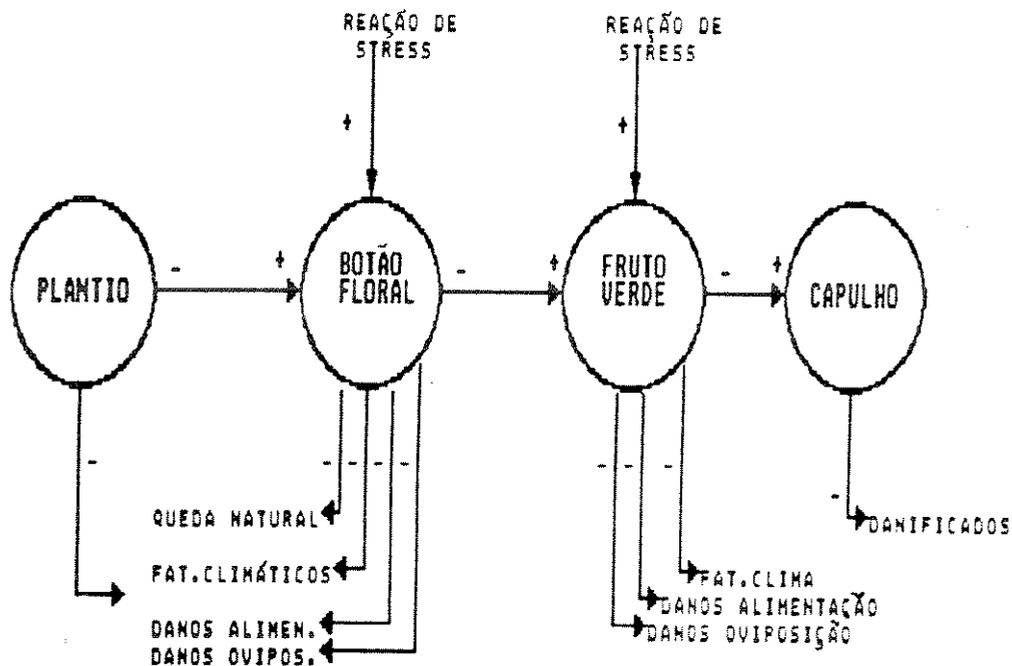


FIGURA 4.8: PRINCIPAIS FATORES ENVOLVIDOS NO AUMENTO E/OU DIMINUIÇÃO DAS ESTRUTURAS FRUTÍFERAS DA PLANTA ANALISADOS POR ESTE TRABALHO.

Equações do modelo da planta:

$$\begin{aligned}
 \text{BOT0}[t+1] &= \text{nasc_alg}[t] + ((1-\text{fataus_bot0}) * \text{BOT0}[t]) - (\text{Ppassou} * \text{BOT0}[t]); \\
 \text{BOT1}[t+1] &= (\text{Ppassou_bot0} * \text{BOT0}[t]) + ((1-\text{fataus_bot}) * \text{BOT1}[t]) - (\text{Ppassou_bot1} * \text{BOT1}[t]); \\
 \text{BOT2}[t+1] &= (\text{Ppassou_bot1} * \text{BOT1}[t]) + ((1-\text{fataus_bot}) * \text{BOT2}[t]) - (\text{Ppassou_bot2} * \text{BOT2}[t]); \\
 \text{BOT3}[t+1] &= (\text{Ppassou_bot2} * \text{BOT2}[t]) + ((1-\text{fataus_bot}) * \text{BOT3}[t]) - (\text{Ppassou_bot3} * \text{BOT3}[t]); \\
 \text{BOT4}[t+1] &= (\text{Ppassou_bot3} * \text{BOT3}[t]) + ((1-\text{fataus_bot}) * \text{BOT4}[t]) - (\text{Ppassou_bot4} * \text{BOT4}[t]); \\
 \text{FLOR5}[t+1] &= (\text{Ppassou_bot4} * \text{BOT4}[t]) - ((1-\text{fataus_flor}) * \text{FLOR5}[t]) - (\text{Ppassou_flor} * \text{FLOR5}[t]); \\
 \text{FV6}[t+1] &= (\text{Ppassou_flor5} * \text{FLOR5}[t]) + ((1-\text{fataus_fv}) * \text{FV6}[t]) - (\text{Ppassou_fv6} * \text{FV6}[t]); \\
 \text{FV7}[t+1] &= (\text{Ppassou_fv6} * \text{FV6}[t]) + ((1-\text{fataus_fv}) * \text{FV7}[t]) - (\text{Ppassou_fv7} * \text{FV7}[t]); \\
 \text{FV8}[t+1] &= (\text{Ppassou_fv7} * \text{FV7}[t]) + ((1-\text{fataus_fv}) * \text{FV8}[t]) - (\text{Ppassou_fv8} * \text{FV8}[t]); \\
 \text{FV9}[t+1] &= (\text{Ppassou_fv8} * \text{FV8}[t]) + ((1-\text{fataus_fv}) * \text{FV9}[t]) - (\text{Ppassou_fv9} * \text{FV9}[t]); \\
 \text{CAPULHOS}[t+1] &= (\text{Ppassou_fv9} * \text{FV9}[t]) + \text{CAPULHOS}[t];
 \end{aligned}$$

onde:

BOT* = quantidade de botões florais do tipo * presentes na planta;

FLOR5= quantidade de flores presentes na planta;

FV*= quantidade de frutos verdes do tipo * presentes na planta;

CAPULHOS= quantidade de capulhos presentes na planta;

Ppassou_*= porcentagem de estruturas do tipo * que passou para o tipo seguinte;

fataus*= fatores que contribuem para a ausência de estruturas do tipo * ("stress" natural, ataque do bicudo, queda por chuva forte, queda por umidade alta, etc...)

●●●)MODELO MATEMÁTICO DO *BRACON*.

Tratando-se de um parasitóide de larvas do bicudo, o modelo do *Bracon* foi construído de forma a permitir ao usuário, a verificação da influência desta população na diminuição da população de larvas do bicudo.

O modelo do *Bracon* é discreto, compartimental e probabilístico, visto que depende da probabilidade de existência de larvas do curculionídeo(Pessoa *et al.*, 1993a,b).

É permitido ao usuário, indicar o momento de levar em consideração quantidades diferentes desta população, a fim de avaliar seu grau de parasitismo.

Visto a falta de informações relativas à necessidade de graus dias para o desenvolvimento deste parasitóide, seu modelo utiliza-se de informações de necessidades diárias para mudança de fases de desenvolvimento (Carvalho *et al.*, 1992; Pierozzi Jr., 1985;1989).

Apresentam-se a seguir, as equações que o compõem:

$$OVO_BRA[t+1] = (ovip_bra * FEM_BRA[t] * (TAM_LAR_LAR) * ((1 - fataus_ovo) * OVO_BRA[t]) - (Ppassou_ovo * OVO_BRA[t]))$$

$$LAR_BRA[t+1] = (Ppassou_ovo * OVO_BRA[t]) + ((1 - fataus_lar) * LAR_BRA[t]) - (Ppassou_lar * LAR_BRA[t]);$$

$$PPUP_BRA[t+1] = (Ppassou_lar * LAR_BRA[t]) + ((1 - fataus_ppup) * PPUP_BRA[t]) - (Ppassou_ppup * PPUP_BRA[t]);$$

$$PUP_BRA[t+1] = (Ppassou_ppup * PPUP_BRA[t]) + ((1 - fataus_pup) * PUP_BRA[t]) - (Ppassou_pup * PUP_BRA[t]);$$

$$FEM_BRA[t+1] = (Ppassou_pup * rs_bra * PUP_BRA[t]) + ((1 - fataus_fem) * FEM_BRA[t]) - (Ppassou_fem * FEM_BRA[t]);$$

$$MAC_BRA[t+1] = (Ppassou_pup * (1 - rs_bra) * PUP_BRA[t]) + ((1 - fataus_mac) * MAC_BRA[t]) - (Ppassou_mac * MAC_BRA[t]);$$

onde:

OVO_BRA= quantidade de ovos de Bracon ;

LAR_BRA= quantidade de arvas de bracon;

PPUP_BRA= quantidade de pré-pupa do bracon;

PUP_BRA= quantidade de pupas do Bracon;

FEM_BRA= quantidade de fêmeas ativas do bracon;

MAC_BRA= quantidade de machos do bracon;

rs_bra= razão sexual de fêmeas de Bracon na população;

ovip_bra= quantidade de ovos de bracon/fêmea de bracon/hospedeiro;

fataus_* = fatores que contribuem a ausência da população * (morte natural, etc..)

Ppassou*= percentagem da população que passou para a fase seguinte de desenvolvimento.

TAM_LAR_PAR= quantidade de LAR_BOT[t] e de LAR_FV[t] que possuem tamanhos apropriados ao parasitismo.

4.3) PROJETO DO SIMULADOR

Uma vez definidas as estimativas e modelos matemáticos necessários à elaboração do simulador nas seções precedentes, esta seção encarrega-se de apresentar as rotinas utilizadas na sua construção, bem como comentários relativos a sua implementação.

Básicamente, o simulador foi projetado a partir da rotina principal (ROTINA MAIN ()), apresentada a seguir.

ROTINA MAIN()

INÍCIO:

1-Inicializa semente do gerador aleatório e variáveis;

ENQUANTO (Usuário não desejar sair do sistema)

{

Apresenta o Menu do simulador:

SE: (opcao=1) entrada de dados

ENTÃO: ROTINA ENTRADA_LAVOURA();

SE: (opcao=2) determina fatores abióticos

ENTÃO: ROTINA FAT_FISICOS();

SE:(opcao=3) determina ação ou não do Bracon

ENTÃO:ROTINA PARASITOIDE();

SE: (opcao=4) permite modificar a base de conhecimentos do sistema especialista.

ENTÃO: ROTINA ALTERA_BASE();

SE:(opcao=5) executa simulação para o número de dias desejados(DIAS_SIM)

ENTÃO: ROTINA SIMULADOR();

```
SE: (opcao=6) emite relatórios após simulação
ENTÃO: ROTINA RELATORIO( );

SE:(opcao=7) sai do simulador;
ENTÃO: ROTINA SAI( );
}
TÉRMINO.
```

Ao entrar no sistema o usuário deverá escolher a opção 1 do Menu (ROTINA ENTRADA_LAVOURA()).

Esta rotina é a entrada de dados do sistema e consiste em informações fornecidas pelo usuário relativas ao algodão e ao nível atual de infestação do bicudo na lavoura.

As principais informações são:

A) Sobre o algodão:

- a1) Data do plantio.
- a2) Ano bissexto (ou não).
- a3) Idade da planta
- a4) Idade do aparecimento do primeiro botão floral na lavoura (caso já exista).
- a5) Quantidade média de botões/planta presos na planta (sadios e atacados pelo bicudo).
- a6) Quantidade média de botões/planta caídos no solo (sadios e atacados).
- a7) Quantidade média de flores/planta.
- a8) Quantidade média de frutos verdes/planta (sadios e atacados).

B) Sobre o bicudo:

- b1) Quantidade média de adultos/planta.

- b2) Quantidade média de sinais de alimentação/planta.
- b3) Quantidade média de sinais de oviposição/planta.
- b4) Quantidade média de ambos sinais (ovip/alim)/planta.

A rotina.ENTRADA_LAVOURA() é apresentada a seguir.

ROTINA ENTRADA_LAVOURA()

INÍCIO:

1-Escolhe a forma de entrada de dados (ENTRADA);

SE: ENTRADA por arquivo;

ENTÃO: Resgata informações do arquivo USUÁRIO.DAT;

SE: ENTRADA por teclado;

ENTÃO: Usuário digita informações que posteriormente serão armazenadas no arquivo USUÁRIO.DAT;

TÉRMINO.

A ROTINA ENTRADA_LAVOURA(), permite ao usuário a escolha da forma de entrada dos dados referentes a lavoura. Dessa forma, o usuário poderá digitar os dados via teclado, que posteriormente serão armazenados no arquivo USUÁRIO.DAT. Caso já tenha digitado as informações uma primeira vez, o usuário não precisará digitá-las novamente para realizar novas simulações para a mesma situação inicial de infestação. Neste caso, basta utilizar a opção de entrada de dados por arquivo, que resgatará as informações previamente armazenadas do arquivo USUÁRIO.DAT.

Após executar a rotina entrada_lavoura() o simulador retorna ao Menu Principal.

Posteriormente, o usuário deve optar pela forma como os fatores abióticos (temperatura e pluviosidade) serão gerados. Para tal, deverá

utilizar-se da opção 2 do Menu Principal. Esta opção, executará a ROTINA FAT_FISICOS() apresentada abaixo.

ROTINA FAT_FISICOS()

INÍCIO:

1-Apresenta menu de escolha da forma de geração de temperaturas máxima e mínima diárias:

SE: Deseja usar médias dos últimos dez anos

ENTÃO: Utiliza arquivos mensais com informações diárias(médias)de temperaturas máxima e mínima (arquivos TEMP_"mes".DAT);

SE: Deseja gerar aleatoriamente

ENTÃO: Gera temperaturas máxima e mínima diárias de acordo com os parâmetros mensais estabelecidos para as Distribuições Normais

2-Apresenta menu de escolha de geração de pluviosidade diária.:

SE: Deseja usar médias dos últimos dez anos

ENTÃO: Utiliza arquivos mensais com informações diárias(médias) de mm de precipitações pluviométricas (arquivos PLUV_"mes".DAT);

SE: Deseja gerar aleatoriamente

ENTÃO: Utiliza distribuições de Bernouille e Exponencial Negativa para geração;

TÉRMINO.

A ROTINA FAT_FISICOS(), permite que o usuário escolha a forma como serão fornecidos os dados diários de Temperaturas, Máxima e Mínima, e Pluviosidade. As opções permitem que estes fatores abióticos sejam utilizados de forma aleatória ou média diária(mensal). Caso o usuário opte pela escolha aleatória dos dados, eles serão gerados de acordo com parâmetros mensais estabelecidos para cada tipo de Distribuição (Bernoulli, Exponencial Negativa ou

Normal) que representam os fatores físicos. Caso contrário, serão apresentadas médias diárias, relativas a cada mês, dos últimos dez anos.

Após executar a rotina, o simulador retorna ao Menu Principal.

O passo seguinte possibilita, ao usuário, optar pela presença, ou não, de uma população inicial de Bracon na lavoura. Este procedimento permite analisar o comportamento desse parasitóide como agente de mortalidade de larvas do bicudo. A ROTINA PARASITOIDE_BRACON() (opção 3 do Menu principal), fornece esta opção de análise.

ROTINA PARASITOIDE_BRACON()

INÍCIO:

1-Questiona o usuário sobre entrar ou não com a população de bracon;

SE: Entra com população inicial de bracon no controle,

ENTÃO:

{

1-Pergunta dia/mês da entrada da população

2-Pergunta a população inicial do parasitóide;

SE: Deseja entrar população diferenciada,

ENTÃO: fornece população de fêmeas;

CASO CONTRÁRIO: Usa razão sexual normal;

3- Escreve opção escolhida na variável quadro negro QN_IN;

}

TÉRMINO.

Após execução da rotina, o simulador retorna ao Menu Principal.

Este simulador conta com uma base de conhecimentos, usada pelo sistema especialista, restrita aos princípios ativos de inseticidas disponíveis no mercado. Isto ocorre devido à necessidade de seletividade dos inseticidas químicos

a serem propostos pelo sistema especialista. Entretanto, é permitido ao usuário, a entrada de uma nova base de conhecimentos através da opção 4 do Menu Principal, além de alterações em quantidades do número de aplicações de inseticidas e valores relativos à eficiência funcional econômica de produtos nela já existentes, permitindo avaliar diferentes ações desse tipo de controle.

Desse modo, as considerações relativas à ROTINA ALTERA_BASE(), são fornecidas a seguir.

ROTINA ALTERA_BASE()

INÍCIO:

SE: Deseja entrar ou alterar a base de conhecimentos

ENTÃO:

{

1-Entra com objetos (INSETICIDAS SELETIVOS) e atributos (CLÁUSULAS das regras).(Rotina EXPERT_ENTRADA());

2-Salva a Base de Conhecimentos digitada, no arquivo EXPERT.DAT, usando a rotina EXPERT_SALVA;

3-Fornece informações adicionais a respeito dos inseticidas presentes na Base de Conhecimentos e as armazena no arquivo DOSAGEM.DAT (ROTINA EXTRA_INFORM()).

}

TÉRMINO.

A rotina ALTERA_BASE() está relacionada com a construção da base de conhecimentos do sistema especialista, elaborada conforme Schildt(1989). Esta base é formada pelas rotinas de entrada de informações, salvamento das informações digitadas e informações adicionais (Rotinas EXPERT_ENTRADA, EXPERT_SALVA e EXTRA_INFORM()).

Essas rotinas, são formadas por estruturas que representam os objetos e atributos da base.

Os nomes dos inseticidas seletivos ou princípios ativos, são armazenados como os OBJETOS da base de conhecimentos em estruturas tipo OBJETO (BASE[]). Este tipo de estrutura possui dois membros, representados pelo nome do objeto(BASE[].nome) e pelo apontador para a estrutura que armazena seus atributos(BASE[].aponta). O primeiro membro, faz com que cada objeto ocupe uma posição distinta dentro da base de conhecimentos, identificada

pela matriz BASE[t]. Desse modo, BASE[t].NOME[] armazena o nome do objeto t em um vetor de caracteres e, BASE[t]. APONTA[] armazena o apontador da lista de atributos do objeto.

É permitida a inclusão de objetos até que o número MAX seja atingido (no caso default 100). Desse modo, t varia de zero a 99 objetos.

Ao entrar o nome do objeto, cada caracter do nome digitado é armazenado em uma posição do vetor de caracteres NOME[] (membro de BASE[]). É permitido, por *default*, que o objeto seja escrito com no máximo 20 caracteres. Desse modo, o vetor NOME[] recebe caracteres do elemento de posição 0 até a posição 19.

Quando é digitado <ENTER>, se encerra a digitação do nome do objeto, passando ao passo posterior: armazenar o apontador da lista dos atributos desse objeto em BASE[].APONTA.

Os ATRIBUTOS ou cláusulas das regras são armazenados em outro tipo de estrutura, semelhante a estrutura OBJETO, denominada ATRIBUTO. Esta estrutura também possui como membros, um vetor de caracteres chamado ATRIB[], e uma lista de apontadores para o próximo atributo PROX.

O membro ATRIB[] recebe, como seus elementos, os caracteres que definem o atributo. É permitida a inclusão de até 20 caracteres para definir o atributo. Não é permitida a inclusão de espaços em brancos (space) entre palavras que definam o atributo. Na necessidade de incluir mais de uma palavra para definir o atributo torna-se necessária a utilização de " " entre uma palavra e outra. Ressalta-se que este caracter também será contado e, dessa forma, o conjunto de palavras digitadas (separadas por " ") será entendido como uma única palavra.

Ao finalizar a digitação do atributo e teclar <ENTER>, será permitida a inclusão de um novo atributo através do mesmo procedimento definido no parágrafo anterior. Caso não seja necessária a inclusão de um novo atributo o procedimento será encerrado ao digitar-se " fim" e teclar-se <ENTER>.

Nesse instante, será permitida a inclusão de um novo objeto na base de conhecimentos. Caso o usuário não deseje incluir outro objeto, deverá teclar a palavra " fim " e teclar, posteriormente, <ENTER>. Assim procedendo, o processo de inclusão de objetos na base de conhecimentos é encerrado.

O procedimento de inclusão de objetos e atributos nas estruturas descritas nos parágrafos precedentes dá-se na rotina EXPERT_ENTRADA().

Após ter entrado com as informações relativas aos objetos e atributos do sistema especialista, o sistema salva a base de conhecimentos no arquivo EXPERT.DAT. Este procedimento é tomado utilizando-se a rotina EXPERT_SALVA(). Posteriormente é chamada a rotina EXTRA_INFORM(). Esta rotina perguntará, ao usuário, informações extras relativas à forma de aplicação de cada inseticida contido na base de conhecimentos: quantidade de aplicações, intervalo de dias entre aplicações sucessivas, fator de eficiência funcional do produto e quantidade de dias necessários para a perda de eficiência funcional do produto. Estas informações serão armazenadas no arquivo

DOSAGEM.DAT. Posteriormente termina-se a execução da rotina ALTERA_BASE() e o Menu principal é novamente apresentado na tela.

Apesar do crescente número de possíveis alternativas ao controle do bicudo, o Banco de Conhecimentos deste sistema conterá apenas as regras pertinentes à utilização de inseticidas seletivos disponíveis no mercado. Entretanto, salienta-se a facilidade na inclusão de um novo inseticida, com atributos representados pelas variáveis quadro-negro já existentes, visto a falta de necessidade de alterações em toda a estrutura de programação, como nos programas convencionais.

A inclusão das regras referentes a produtos não seletivos no Banco de Conhecimentos não são cogitadas pelos objetivos deste trabalho, visto a necessidade de avaliar a influência do *Bracon sp* e salvaguardar-se a preocupação com o meio ambiente.

Uma vez definidos os fatores que estarão influenciando o ambiente, o usuário poderá inicializar a simulação propriamente dita, acionando a opção 5 do Menu Principal (ROTINA SIMULADOR()).

As considerações pertinentes a rotina SIMULADOR() são apresentadas abaixo.

ROTINA SIMULADOR ()

INÍCIO:

- 1-Usuário fornece quantidade de dias a simular (DIAS_SIM)
- 2-Estimativa da população inicial do bicudo a partir dos sinais de ataque;
- 3-Inicializa matrizes populacionais do bicudo(BIC_QTD[][][][], BIC_GD[][][][]), das estruturas frutíferas sadias do algodão(ALG_QTD[][][][] e ALG_GD[][][][]) e das estruturas frutíferas atacados do algodão (ATAQ_ALG[][][][], ATAQ_DIA[][][][]);
- 4-Inicializa variáveis acumuladoras de stress natural (ACUM_PER_STRE) e de queda de botões florais causada pelo ataque do bicudo(ACUM_CAI_ALG)
- 5-Posiciona o contador de dias (CONT) para o dia do plantio.
- 6-Incrementa o contador até o dia de germinação, verificando a ocorrência ou não de troca de mês.
- 7- Obtem informações sobre as temperaturas máxima e mínima do dia

ENQUANTO (CONT diferente da idade da planta)

{

```
1-Verifica troca de dia e/ou mês(DIA_MES(MES),ABRE_TEMP(MES) );
2- Calcula grau dia e acumula na variável SOM_GD;
SE acumulou graus dias para aparecer primeiro botão
ENTÃO: incrementa contador de aparecimento do primeiro botão floral
na lavoura(ID_X);
}
8-Compara dados reais da planta com dados estimados;
9-Calcula percentagem acumulada de danos de ataque;
10-Verifica se Limiar Econômico de Dano foi atingido;
SE: (Percentagem de danos acumulados maior igual a 5%)
ENTÃO:
{
1-Calcula pluviosidade do dia;
2-Chama o Sistema Especialista para orientar inseticida
(EXPERT_CARREGA; EXPERT_INFERE);
SE: Sistema Especialista orienta inseticida
ENTÃO:
{
1-Chama EXTRA_INFORM()
2- Escreve orientações fornecidas no arquivo de recomendações
RECOMEN.DAT;
3-Informa início de controle químico;
}
}
11-Início da simulação (dia de simulação TSIMUL=1)
ENQUANTO (TSIMUL diferente de DIAS_SIM)
{
1-Atualiza dia e mês(ROTINAS ATUALIZA_DIA( ), DIA_MES(MES),
ABRE_TEMP(MES));
```

2-Verifica ocorrência de chuva

SE: Chove

ENTÃO: Verifica quantos mm precipitados;

3-Atualiza variável quadro-negro QN_CHUVA;

4-Atualiza temperaturas máxima e mínima

5- Calcula graus-dia (GD(tmax,tmin,tbase));

SE: Influência da população de Bracon será analisada

ENTÃO:

{

1-Verifica se data atual é a data de entrada da população inicial de Bracon na lavoura

SE: data atual é data de entrada da população.

ENTÃO inicializa matriz populacional bracon;

}

6-Calcula quantidade de botões florais nascidos no TSIMUL e atualiza as matrizes populacionais de estruturas frutíferas sadias do algodão (ALG_QTD[][][] e ALG_GD[][][]);

7-Atualiza população de estruturas frutíferas sadias, trazendo informações do dia anterior para o dia atual e acrescentando os graus-dia do novo dia aos elementos trazidos (ATUALIZA_POSICAO_ALG())

8-Verifica se elementos atingiram graus dias necessários para troca de compartimentos (ou de tipo) (ATUALIZA_CONTEUDO_ALG() e ATUAL_ALG(If))

SE: Ocorreu mudança de tipo (compartimento)

ENTÃO: Realiza troca de compartimentos

9-Calcula quantidade tipos de estruturas frutíferas disponíveis sem ataque (POP_ALG)

10-Verifica se ocorreu queda por stress natural

SE: Ocorreu queda por stress

ENTÃO:

{

1-Retira estruturas frutíferas, dos tipos associados a esta queda, da matriz populacional de estruturas sadias;

2-Acumula estruturas retiradas da planta em ACUM_PER_STRE

3-Calcula quantidade de tipos de estruturas frutíferas que permaneceram sem ataque

}

11-Verifica se estruturas frutíferas atacadas anteriormente pelo bicudo já sofreram queda da planta(VERIFICO_QUEDA())

SE: estruturas caíram

ENTÃO:

{

1- Retira as estruturas da matriz populacional de estruturas atacadas pelo bicudo(ATAQ_ALG[][][]) e as acumula em ACUM_CAI_ALG

2-Atualiza conteúdo da matriz de estruturas atacada e, posteriormente, calcula quantidades de cada tipo de estrutura frutífera atacada mas ainda presa na planta (MOSTRA_ATAQALG())

}

12-Quantifica população de bicudos por tipos (POP_BIC)

SE: Existem adultos do bicudo

ENTÃO:

{

1-Quantifica estruturas preferenciais atacadas ou nao presas na planta.

2-Calcula ataque por alimentação

SE: Existem fêmeas ativas

ENTÃO: Calcula ataque por reprodução

SE: Houve ataque do bicudo

ENTÃO:

{

1-Retira estruturas atacadas da matriz populacional de estruturas frutíferas sadias e as coloca na matriz populacional de estruturas frutíferas atacadas.

2-Calcula percentagem de danos acumulados de ataque do bicudo

SE: percentagem de danos acumulados maior ou igual a 5%

ENTÃO:

{

SE: percentagem de danos acumulados maior ou igual a 10%

ENTÃO: Atingi o Nível Econômico de Dano

{

1-Atualiza variável quadro-negro QN_LIMIAR;

SE: População de Bracon não está na lavoura

ENTÃO:

{

SE:Ainda não está sendo feito controle químico

ENTÃO:

{

1-Aciona Sistema Especialista (EXPERT_CARREGA(),
EXPERT_INFERE())

SE: Sistema especialista informa inseticida

ENTÃO:

{

1-Ler DOSAGEM.DAT e retira informações a respeito da quantidade de aplicações, intervalos entre aplicações sucessivas, eficiência funcional econômica e quantidade de dias para perda de eficiência funcional econômica.

2-Escreve informações de controle químico no arquivo RECOMEN.DAT

3-Inicializa contadores de controle químico.

4-Calcula mortalidade de adultos do bicudo decorrente de controle químico (MORTE_INS), EFIC_INSET());

5-Retira adultos mortos e armazena em MORTE_INSET[TSIMUL];

6-Atualiza matriz populacional do bicudo;

```
    }
  }
SE: controle químico já iniciado
ENTÃO:
{
  1- Atualiza variáveis de controle químico;
SE: controle químico ainda não termina
ENTÃO:
{
  1- Calcula mortalidade de adultos do bicudo decorrente de
inseticida(MORTE_INS(), EFIC_FUC());
  2- Retira adultos mortos da matriz populacional de bicudos
sadios e acumula em MORTE_INSET[TSIMUL]
  3-Atualiza matriz populacional de bicudos sadios.
}
}
}
SE: População de Bracon já entrou
ENTÃO:
{
  1-Atualiza população do Bracon
(ATUALIZA_POSICOES_BRA,
ATUALIZA_CONTEUDO_BRA)
  2-Quantifica população de Bracon por tipo
  3-Calcula probabilidade do Bracon encontrar larvas de bicudo de
tamanhos preferenciais(TAM_LAR_PAR)
SE: encontra larvas e há fêmeas do bracon
ENTAO:
{
```

1- Atualiza população do bicudo, acumulando as larvas mortas do bicudo em ACUM_PARBRA.

2 -Atualiza população de bracon;

}

}

}

}

}

}

13-Escreve informações ambientais de TSIMUL no arquivo AMBIENTE.DAT

14- Escreve informações populacionais do bicudo em BICUDO.DAT;

15- Escreve informações de estruturas frutíferas disponíveis em ALGODAO.DAT

16-Escreve informações de estruturas frutíferas danificadas em ATAQ_ALG.DAT

SE: Influência da população de Bracon está sendo analisada

ENTÃO: Escreve informações populacionais da população do Bracon em BRACON.DAT

17- Passo para um novo dia de simulação fazendo (TSIMUL+1);

}

TÉRMINO

Nesta rotina, as populações da praga, de estruturas frutíferas e do parasitóide são representadas por matrizes tri-dimensionais.

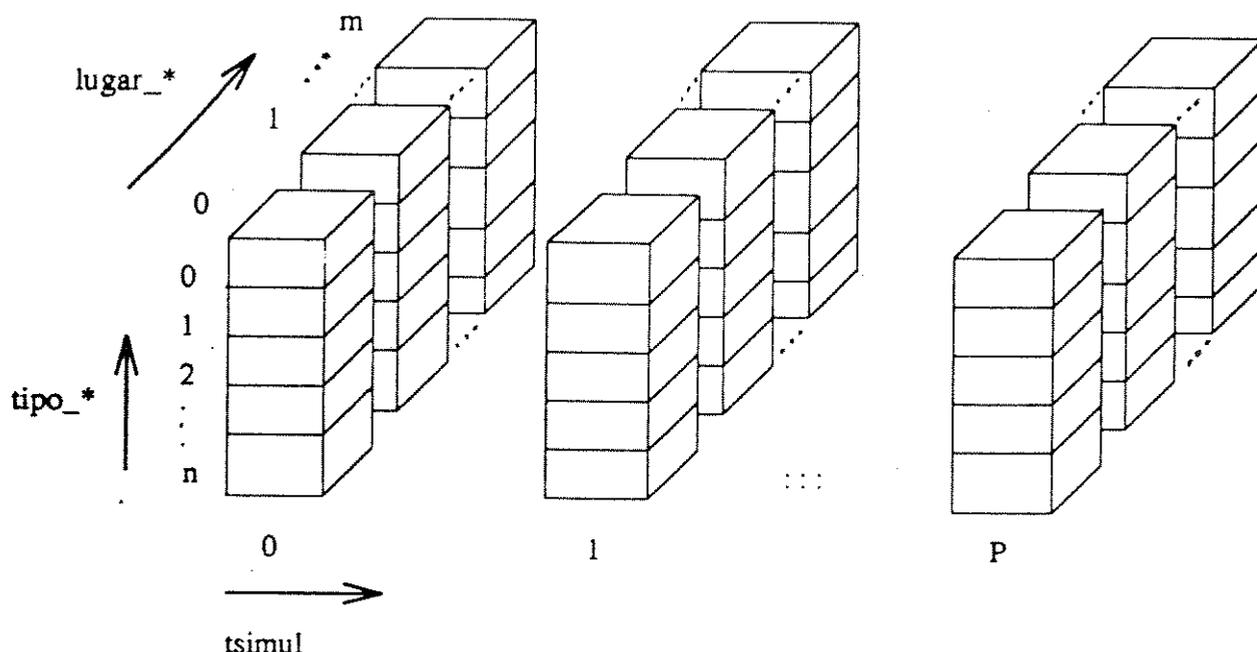


FIGURA 4.9: ESTRUTURA DE DADOS DOS MODELOS.

Para o algodão, por exemplo, são apresentadas duas matrizes a saber, $ALG_QTD[tipo_alg][t\ simul][lugar_alg]$ e a matriz $ALG_GD[tipo_alg][t\ simul][lugar_alg]$, onde $tipo_alg$ representa o estágio, ou os estádios, relacionados às estruturas frutíferas do algodoeiro; $t\ simul$ representa o dia de simulação; e $lugar_alg$ diferencia indivíduos de mesmo estágio/estádio no mesmo $t\ simul$, mas com diferentes graus-dia acumulados na matriz $ALG_GD[][][]$.

A matriz $ALG_QTD[][][]$ apresenta a quantidade de indivíduos. Já a matriz $ALG_GD[][][]$, armazena a quantidade de graus-dia pelos indivíduos de mesma posição em $ALG_QTD[][][]$. O conteúdo da matriz $ALG_GD[][][]$ é o acúmulo de graus-dia dos indivíduos de mesma posição em $ALG_QTD[][][]$, calculado usando a rotina $GD(x,y,c)$, onde x , y e c representam as temperaturas máxima, mínima e base, respectivamente.

As linhas dessas matrizes, por exemplo a da $ALG_QTD[tipo_alg][][]$, representam os estágios e estádios, que as diferentes fases envolvidas no processo de aparecimento de estruturas frutíferas podem assumir. Dessa forma, $tipo_alg$ varia de 0-10 (Vide FIG. 2.13, no Capítulo 2).

As colunas da matriz, $ALG_QTD[][t\ simul][][]$, referem-se ao dia de simulação em questão. Quando $t\ simul=0$, todos os dados encontrados como elementos desta coluna da matriz são dados de entrada do sistema, fornecidos via teclado pelo usuário, ou por arquivo previamente digitado no formato da entrada de dados (USUARIO.DAT), conforme opção escolhida no Menu do Sistema Principal. Dessa forma, $t\ simul$ varia de 0 até a quantidade de dias de simulação requisitados pelo usuário (armazenado na variável DIAS_SIM).

Como é sabido, na natureza é possível encontrar indivíduos no mesmo estágio ou estádio de desenvolvimento, em dado instante de tempo. Se estes indivíduos não completarem a quantidade de graus-dia acumulada, necessária

para transportá-los à fase seguinte, podem coincidir com a chegada de novos indivíduos que completaram as necessidades de graus-dia da fase anterior. Entretanto, mesmo pertencendo ao mesmo tipo, estes indivíduos diferem-se entre si em termos da quantidade acumulada de graus-dia que possuem, e por isso são armazenados em "lugares" diferentes.

Cometer-se-ia engano se, utilizando-se da necessidade de graus-dia acumulados para estabelecer-se o momento exato de troca de compartimento, acumulássemos todos os indivíduos (os já presentes no compartimento e os que acabaram de chegar da fase anterior) com a mesma quantidade de graus-dia, num único compartimento.

Assim sendo, a estrutura de dados proposta para este simulador apresenta compartimentos, `ALG_QTD[][][lugar_alg]` e `ALG_GD[][][lugar_alg]`, indicando lugares disponíveis aos elementos mais antigos, distinguindo-os dos que acabam de chegar da fase anterior.

Na verdade as Matrizes `ALG_QTD[][][]` e `ALG_GD[][][]` representam o ciclo do algodão em graus-dia, já discutidos no Capítulo 2, para cada estado do sistema (TSIMUL). As rotinas que carregam as informações do dia anterior (TSIMUL-1) e que atualizam ou verificam a troca de compartimentos do algodão são `ATUALIZA_POSICOES_ALG()`, `ATUALIZA_CONTEUDO_ALG()` e `ATUAL_ALG(lf)`. A rotina `ATUALIZA_POSICOES_ALG()` transporta as informações contidas nas matrizes `ALG_QTD[][][]` e `ALG_GD[][][]` do dia anterior de simulação para o dia atual, acrescentando aos conteúdos não vazios da matriz `ALG_GD[][][]` o valor de graus-dia do novo dia. A rotina `ATUALIZA_CONTEUDO_ALG()`, verifica se ocorreu troca de compartimentos nas matrizes `ALG_GD[][][]` e `ALG_QTD[][][]`, através da comparação dos valores acumulados em `ALG_GD[][][]` com os valores de graus-dias necessários para cada tipo, para que ocorra troca de compartimentos. A rotina `ATUAL_ALG(lf)` efetua a troca de compartimento, onde `lf` é o somatório de graus dias necessários para a troca. Seus fluxogramas e descrições de variáveis associadas encontram-se documentados nos anexos.

O algodão atacado pelo bicudo é retirado das matrizes `ALG_QTD[][][]` e `ALG_GD[][][]` e colocado nas respectivas matrizes `ATAQ_ALG[][][]` e `ATAQ_DIA[][][]`, onde `ATAQ_DIA[][][]` recebe a quantidade de dias desde o ataque à estrutura. Estas matrizes facilitam a retirada das estruturas, em caso de queda ou de ataque a estruturas já atacadas anteriormente. A retirada de estruturas da planta atacadas, dá-se na rotina `ATUALIZA_ATAQ_ALG()`. A quantidade de estruturas da planta que sofreram queda decorrente de ataque do bicudo, e, portanto, retiradas de `ATAQ_ALG[][][]`, são acumuladas na variável `ACUM_CAI_ALG`. A rotina `MOSTRA_ATAQALG(ti_ini, ti_fim, tisim)`, calcula a quantidade de estruturas frutíferas da planta atacadas, mas ainda presentes na planta, e as armazena nas variáveis `ATAQ*`, onde `*` é o tipo da estrutura. Esta rotina permite o cálculo dessas estruturas atacadas, em intervalos compreendidos entre os tipos `ti_ini` e `ti_fim`, para o dia de simulação `tisim`.

As estruturas frutíferas do algodoeiro que caem por stress natural são acumuladas na variável global `ACUM_PER_STRE`. Esta variável permite analisar as diferentes porcentagens de stress natural na presença ou não da praga.

A disponibilidade de estruturas frutíferas sadias presas à planta é calculada usando a rotina POP_ALG(t_{i_ini} , t_{i_fim} , t_{i_sim}), para tipos de estruturas definidos no intervalo estabelecido de t_{i_ini} a t_{i_fim} do dia de simulação t_{i_sim} . Estas estruturas disponíveis são armazenadas nas variáveis DISP*, onde * é o tipo_alg da estrutura.

Assim como descrito nos parágrafos anteriores para a matriz ALG_QTD[tipo_alg][tsimul][lugar_alg], as matrizes relativas ao bicudo e ao Bracon apresentam estrutura de dados similar. Assim,

BIC_QTD[tipo_bic][tsimul][lugar_bic] e

BIC_GD[tipo_bic][tsimul][lugar_bic]

com tipo_bic variando de 0-8 fazendo-se distinção entre ovos, larvas e pupas em desenvolvimento em botões florais (tipo_bic=0,1 e 2) e em desenvolvimento nos frutos verdes (tipo_bic= 6,7 e 8). Os tipo_bic=3,4 e 5 são relativos aos adultos do bicudo nas formas de fêmea pré-ovipositora, fêmea ativa e macho, respectivamente (Vide Fig. 2.13 do Capítulo 2).

Assim como para o algodão, o bicudo possui rotinas computacionais que gerenciam seu ciclo de vida, nascimento, morte e ataques.

O nascimento de novos bicudos (ovos colocados em botões ou em frutos verdes) são calculados após o registro de ataques por reprodução

As rotinas ATUALIZA_POSICOES_BICO(), ATUALIZA_CONTEUDO_BICO() e ATUAL_BIC(If) possuem desempenho similar às estabelecidas para o algodão e já discutidas. Estas rotinas também encontram-se documentadas nos fluxogramas desta tese. (Vide Apêndices).

Os ataques do bicudo por alimentação e/ou reprodução são calculados em termos da disponibilidade de estruturas preferenciais para reprodução (variáveis REP*, onde * são os tipo_alg preferenciais para este tipo de ataque, a saber tipo_alg= 3,4 e 7) e para alimentação (variáveis ALI*, onde * são tipo_alg 2, 3, 4, 7 e 8), além da quantidade de fêmeas e machos do bicudo, e total de estruturas frutíferas disponíveis na planta. A variável ACUM_REP acumula as estruturas presentes na planta (atacadas ou não) utilizáveis para a reprodução do inseto. Já a variável ACUM_ALI acumula as estruturas utilizáveis para alimentação do inseto. Tanto ACUM_REP quanto ACUM_ALI auxiliam no cálculo da probabilidade do inseto encontrar uma estrutura preferencial para cada um dos tipos de ataque. A reprodução em fruto verde torna-se preferencial quando esta estrutura frutífera for encontrada na proporção de 1 botão floral para cada 4 frutos verdes presentes na planta

A mortalidade do bicudo é analisada em função de: sua idade (MORTE_BIC[tsimul]), fatores genéticos (MORTE_SOB[tsimul]), aplicação de inseticida (MORTE_INSET[tsimul]) e ação do Bracon (PABRA_QTD[tsimul]). Para o cálculo desses tipos distintos de mortalidades, são utilizadas as rotinas SOBREVIVENCIA(tipo_bic) que apresentam a probabilidade de vida entre troca de fases de desenvolvimento do inseto e a rotina MORTE_INS(xbat, xdia) que calcula a quantidade de adultos mortos por inseticida químico.

Para o Bracon, temos

BRA_QTD[tipo_bra][tsimul][lugar_bra] e

BRA_DIA[tipo_bra][tsimul][lugar_bra]

com tipo_bra variando de 0-6, apresentando ao invés de dados de necessidades de graus dias, necessidades de números de dias para completar-se a fase de desenvolvimento e efetuar troca de indivíduos para novos compartimentos (Vide FIG. 2.16, do Capítulo2).

Assim como para o bicudo e algodão, o *Bracon* possui as rotinas ATUAL_BRA(If), ATUALIZA_CONTEUDO_BRA() e ATUALIZA_POSICOES_BRA() com as mesmas finalidades já descritas.(Vide apêndice).

As larvas de bicudo de tamanho apropriado ao parasitismo por bracon são computadas na variável TAM_LAR_PAR em todos os dias de simulação. A probabilidade da fêmea do Bracon encontrar uma larva do bicudo de tamanho conveniente ao parasitismo (PENC_BOT_LAR) é calculada também em função da disponibilidade total de estruturas na planta (DISP_ATAQ). A quantidade de larvas parasitadas por Bracon são retiradas das matrizes BIC_QTD[][][] e BIC_GD[][][] e, posteriormente, a quantidade de indivíduos retirada de BIC_QTD[][][] é armazenada em PABRA_QTD[]. Este valor multiplicado pela quantidade de ovos/(fêmea bracon)/hospedeiro determina o número de ovos de bracon "recém nascidos" que serão alocados na matriz BRA_QTD[0][][].

Tendo quantificado a população diária de bicudos presentes na lavoura simulada em TSMUL, bem como a disponibilidade de estruturas frutíferas de sua preferência, disponíveis, são calculados os danos causados pela população da praga.

Botões com sinais de oviposição/alimentação são considerados como danificados e retirados da disponibilidade de estruturas para ataque do inseto.

Após a determinação da quantidade de estruturas danificadas, calcula-se a porcentagem destas com relação ao total de estruturas frutíferas presentes na planta. Caso estes danos atinjam o limiar econômico de dano (5-7%), o Sistema Especialista é acionado através das rotinas EXPERT_CARREGA, que carrega a base de conhecimentos, e EXPERT_INFERE, que utilizará o mecanismo de inferência.

Neste sistema especialista, entretanto, as perguntas são feitas diretamente para o sistema principal e, por ele respondidas de forma a retroalimentar as informações de medidas a serem executadas. Para que ocorra essa conversação entre os sistemas principal e o especialista, existem variáveis comuns aos dois armazenando as informações necessárias. Essas variáveis representam um ambiente de "quadro negro", já discutido no Capítulo 3. O conteúdo dessas variáveis é escrito no mesmo formato das cláusulas das regras na base de conhecimentos do sistema especialista.

Como a execução do simulador não é interrompida para que o usuário forneça, via teclado, respostas "sim" ou "não" às perguntas feitas pelo sistema especialista, as variáveis "quadro negro" recebem respostas sim ou não

seguidas do nome que representa a finalidade da existência da própria variável. Dessa forma, por exemplo, uma variável que represente o odor do produto químico e que pertença ao quadro negro será chamada de QN_ODOR e seu conteúdo poderá receber os valores "sim_odor" ou "não_odor".

A árvore de decisões do sistema é apresentada na Fig 4., facilitando o entendimento da construção da Base de Conhecimentos do sistema.

Como comentado anteriormente, o banco de conhecimentos do sistema especialista foi construído baseado em cláusulas de regras a serem satisfeitas. As regras são apresentadas no mesmo formato das variáveis pertencentes ao quadro negro. Para este simulador, foram analisadas as variáveis qn_odor (relativa ao odor do produto), qn_limiar (relativa a ter atingido ou não o limiar econômico), qn_chuva (relativa a ter ocorrido ou não precipitações pluviométricas no dia), qn_in (relativa a presença ou não de inimigos naturais). Dessa forma, quando as cláusulas, isto é, cada item da regra na parte IF, são cumpridas, a parte THEN é acionada, levando a verificação de outra regra ou a uma conclusão (inseticida indicado).

Todas as possíveis regras passíveis de serem soluções são verificadas sequencialmente e, caso nenhuma das regras seja satisfeita, o sistema especialista informa a impossibilidade de entrar com a ação química e continua a execução normal do sistema

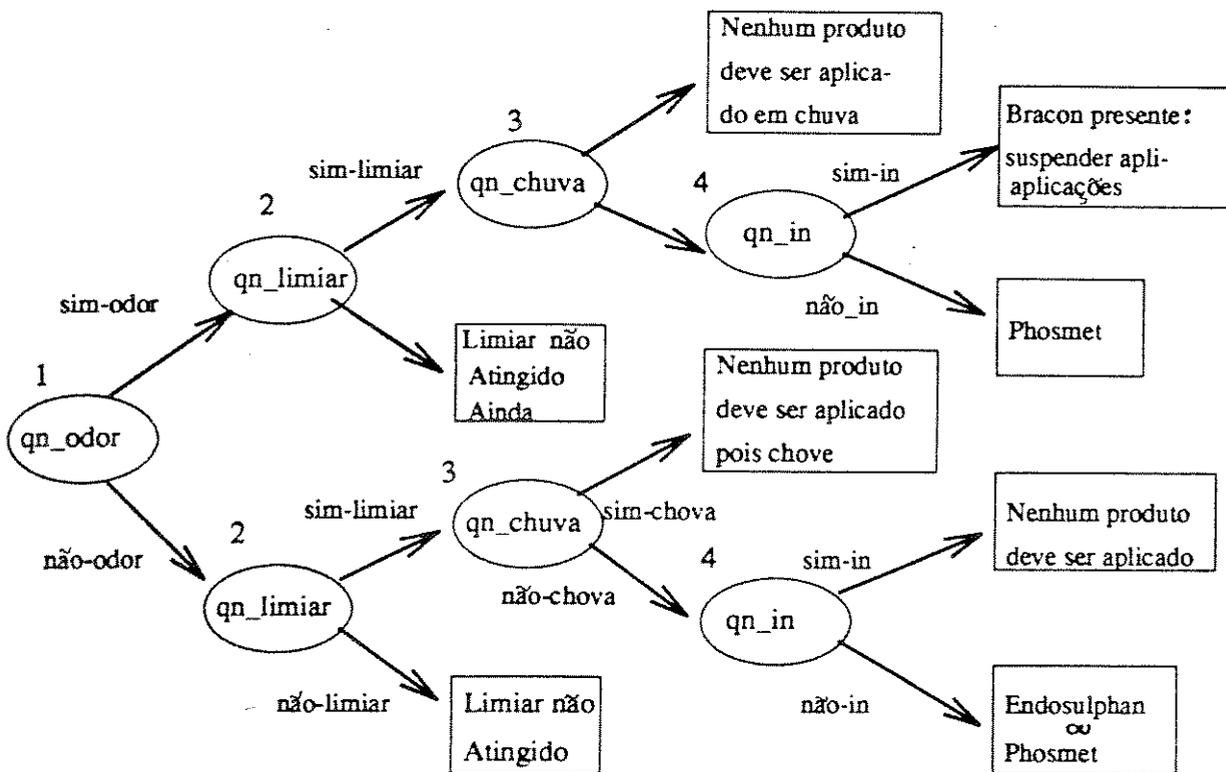


FIGURA 4.10: ÁRVORE DE DECISÕES DO SISTEMA ESPECIALISTA.

O mecanismo de inferência do sistema especialista (EXPERTE_INFERE) utiliza a rotina TENTA(p, BASE[t].NOME) que verificará cada um dos atributos do objeto, interagindo com o sistema principal através da rotina PERGUNTA(ATRIB). Esta rotina verifica se o atributo ATRIB já foi respondido anteriormente. Essa resposta é armazenada na variável RESP_SIST e é fornecida pelo sistema principal, comparando os caracteres do atributo passado por parâmetro com os caracteres das variáveis "quadro-negro". Quando o resultado da comparação resulta em igualdade, o sistema especialista entende o resultado como resposta "SIM" do usuário (no caso, o sistema principal). Caso contrário, o sistema especialista entende como resposta "NÃO". Estas respostas são armazenadas diretamente pelo sistema na variável RESPOSTA, sem intervenção do usuário ou necessidades de interrupções na continuidade da simulação.

Os apontadores dos atributos que obtiveram respostas "NÃO" do sistema, são copiados para uma lista de atributos rejeitados (lista NAO); procedimento similar é executado para o caso de atributos aceitos (lista SIM).

Se PERGUNTA(ATRIB) confirma que o atributo pesquisado já foi respondido anteriormente, é feita uma busca nas listas NAO e SIM, através das rotinas TENTA_NAO e TENTA_SIM.

Desse modo, o mecanismo de inferência não pergunta mais de uma vez os mesmos atributos e, facilita a rejeição imediata de objetos que possuam atributos pertencentes a lista NAO. Além disso, as listas NAO e SIM permitem, caso necessário, que o usuário saiba porque um objeto foi rejeitado ou aceito, auxiliando no entendimento da linha de raciocínio empregada na busca de objetos aceitáveis.

Cada atributo deve ser entendido como uma cláusula da regra que deve ser obedecida para que ocorra a indicação de um inseticida (Objeto). Caso contrário, o sistema informa a impossibilidade de fornecer um inseticida para as condições impostas pelo ambiente no dia de simulação analisado e continua a simulação sem tomar medida de controle químico.

Caso o sistema especialista encontre um objeto, o arquivo DOSAGEM.DAT é aberto para leitura. Este arquivo contém informações extras referentes aos inseticidas que pertencem a base de conhecimentos. Este arquivo, formado pelo usuário a partir da utilização da rotina EXTRA_INFORM(), após a criação da base de conhecimentos (item 4 do menu principal do sistema), apresenta em cada uma de suas linhas informações pertinentes a quantidade de aplicações, intervalo de dias entre uma aplicação e outra, fator de eficiência funcional econômica do inseticida na redução da população adulta do bicudo e a quantidade de dias após a aplicação onde se dá a perda da eficiência funcional econômica.

Dessa forma, após a indicação do sistema especialista, ocorre uma busca sequencial do nome do inseticida indicado, no arquivo Dosagem.dat. Após encontrá-lo, os dados referentes ao dia de simulação onde ocorreu a indicação do inseticida, o nome do inseticida e as demais informações regatadas do dosagem.dat são armazenadas no arquivo RECOMEN.DAT, de recomendações de controle químico.

A eficiência funcional econômica diária do inseticida seletivo indicado é calculada na rotina EFIC_INSET(x), onde x é o dia compreendido na quantidade de dias estabelecida pelo intervalo entre aplicações simultâneas do

produto e o dia da sua perda de eficiência funcional econômica. Esta rotina fornece o fator de mortalidade (REDUZ) de adultos do bicudo, decorrente da aplicação do inseticida, que é utilizada na rotina MORTE INS(xbat,xdia), que retira a população morta das matrizes BIC_QTD[][]] alocando-os no vetor MORTE_INSET[tsimul] (que contabiliza os adultos do bicudo mortos pela ação do inseticida). Ressalta-se que se todos os indivíduos de BIC_QTD[][]] são mortos, os elementos de BIC_GD[][]] na mesma posição também são retirados.

Ao terminar a execução de TSIMUL, os arquivos BICUDO.DAT, BRACON.DAT, ALGODAO.DAT, AMBIENTE.DAT e ATAQ_ALG.DAT, recebem as informações relativas a situação da lavoura referentes ao bicudo, bracon, algodão, ambiente, algodão atacado pelo bicudo, permitindo que o usuário reconstitua todas as alterações populacionais diárias, ao final da simulação. Estes arquivos podem ser facilmente transportados para o software Q-PRO a fim de elaboração de gráficos, se necessário, e serão utilizados para a emissão de relatórios, descrita a seguir.

Terminada a simulação da quantidade de dias desejada pelo usuário, o simulador retorna ao Menu Principal.

Ressalta-se que esse sistema também permite ao usuário, formas alternativas de emissão de relatórios finais. Para isso, foi elaborada a opção 6 do menu principal. Através da escolha desta opção (rotina RELATORIO()) o usuário é apresentado a opções de emissão de relatório DIÁRIA, DE TRES-EM-TRES DIAS ou SEMANAL. Estes relatórios apresentam a situação quantitativa das populações do bicudo, bracon e de estruturas frutíferas do algodão.

ROTINA RELATORIO()

INÍCIO

Escolhe tipo de relatorio (EMISS):

{

SE relatório semanal

ENTAO EMISSÃO(7);

SE relatório de três em três dias

ENTÃO: EMISSÃO(3);

SE relatório diário

ENTÃO EMISSÃO(1);

}

TÉRMINO

Após executar a opção de emissão de relatório, o arquivo RELATÓRIO.DAT torna-se disponível para impressão e/ou visualização na tela do computador, e acompanhamento dos dados conforme opção escolhida de emissão.

O Menu principal torna-se novamente disponível ao usuário.

Caso o usuário deseje sair do simulador, deverá optar pela opção 7 do Menu Principal, ROTINA SAI().

ROTINA SAI()

INÍCIO

SE: Usuário desejar resolveu não sair do sistema

ENTÃO: Retornar ao Menu principal (ROTINA MAIN())

CASO CONTRÁRIO: Finalizar utilização do simulador

TÉRMINO

De um modo geral, foram descritas as principais estruturas e rotinas envolvidas na simulação da dinâmica populacional da praga e no sistema especialista. Acompanhando-se os fluxogramas e as descrições das variáveis arquivos e funções do sistema (Vide Anexos), permite-se a compreensão das variáveis auxiliares utilizadas.

•EQUIPAMENTO UTILIZADO

Este simulador foi elaborado em estações de trabalho SUN, em linguagem computacional C "built-in" no sistema operacional SUN-OS(ambiente UNIX).

As estações de trabalho utilizadas foram SParc Station 1 (na EMBRAPA/NMA), com frequência de 20Mhz e 1.4MFlops ; e SParc Station 10, entre outras, (na UNICAMP/DENSIS-FEE) com 97 MIPS, 512 MB de RAM e com Unidade de disco de 3,5"(1.44Mb) formato DOS.

Para operação do simulador, utilizou-se o sistema de gerenciamento de janelas tipo OPENWINDOWS, do SUNOS em ambiente SHELL.

Os resultados obtidos para diferentes cenários de simulação encontram-se apresentados e discutidos no Capítulo 5.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto do simulador, descrito no Capítulo 4, foi transcrito para linguagem C e posteriormente utilizado e testado no ambiente UNIX em Estação de Trabalho SUN.

Tomando-se as mesmas condições iniciais relacionadas à data de plantio e à quantidade média de estruturas frutíferas presentes na planta, foram simuladas, inicialmente, duas situações extremas: a lavoura sem bicudo e a lavoura com bicudo, sem controle.

Posteriormente, utilizando-se a mesma data de plantio, número médio de estruturas frutíferas e quantidade média de bicudos adultos presentes por planta, apresentam-se diferentes cenários. O primeiro, visa analisar a eficiência do Sistema Especialista na tomada de decisão de controle químico seletivo. Os demais analisam o efeito de quantidades alternativas iniciais da população média de bracon por planta, bem como datas diferentes da entrada dessas populações na lavoura, permitindo avaliar a mortalidade de larvas do bicudo do algodoeiro, decorrentes da presença do parasitóide, e os respectivos níveis de parasitismo associados a cada cenário proposto.

A cultura tomada como base foi plantada em 13 de outubro, contando com plantas de 43 dias de idade que possuem 1.16 botões florais/planta (em média).

A este cenário base, são acrescentadas informações iniciais pertinentes aos cenários de simulação envolvendo a presença do Bicudo e/ou do Bracon.

Na seção 5.1 serão apresentadas peculiaridades pertinentes a cada cenário simulado, bem como discussões a eles associados. As conclusões obtidas através das análises dos resultados apresentados, serão apresentadas na seção 5.2.

5.1- RESULTADOS

A. CENÁRIO SEM A PRESENÇA DO BICUDO.

A fim de ser verificada a dinâmica de aparecimento das estruturas florais do algodoeiro na ausência da praga, foi planejado um cenário com as informações relativas ao cenário base, sem danos nem a presença de adultos da praga em qualquer dia posterior ao início da simulação.

Este cenário 1 permitiu analisar as perdas de estruturas frutíferas causadas na planta ao longo da safra, decorrentes dos fatores abióticos considerados pelo simulador, bem como o potencial de formação de botões florais.

Dessa forma, a entrada de dados desse cenário 1 foi:

Data de plantio: 13/10

Idade atual da planta: 43

Total de dias desde o plantio até a idade atual da planta: 54

Quantidade média de botões/planta: 1.16

Quantidade média de botões/planta atacados: 0

Quantidade média de flores/planta: 0

Quantidade média de frutos/planta: 0

Quantidade média de adultos do bicudo: 0

Temperatura Analisada pela média dos últimos 10 anos

Pluviosidade gerada Aleatoriamente.

Quantidade de dias a simular: 105

Os resultados obtidos para este cenário foram tabelados em relatório semanal. As principais informações encontram-se resumidas na Tabela 5.1 apresentada a seguir.

Os gráficos e comentários, apresentados após a Tabela 5.1, auxiliam a visualização e compreensão dos seus resultados.

TABELA 5.1: RESULTADOS OBTIDOS PELA SIMULAÇÃO DA LAVOURA SEM BICUDO (CENÁRIO 1).

IDADE	BOT	FLOR	FRU	CAP	CHU	OUTROS	POT_SIM
43	1.16	0	0	0	0	0	1.16
50	3.30	0	0	0	0	0	3.31
57	4.20	1.16	0	0	1.94	0	7.31
64	9.91	0	1.16	0	1.94	1.16	14.17
71	19.81	0	1.16	0	1.94	1.16	24.07
78	28.21	.52	1.38	0	4.70	1.38	36.19
85	33.41	.53	3.88	0	6.64	3.88	48.34
92	35.39	1.89	5.86	0	8.49	5.86	57.49
99	21.48	1.28	12.68	0	11.83	12.68	59.96
106	4.32	0	18.32	1.16	14.31	21.85	59.96
113	0	0	20.88	1.16	15.75	22.17	59.96
120	0	0	20.88	1.16	15.75	22.17	59.96
127	0	0	18.73	3.31	15.75	22.17	59.96
134	0	0	17.04	5.00	15.75	22.17	59.96
141	0	0	13.24	8.79	15.75	22.17	59.96
148	0	0	3.80	18.24	15.75	22.17	59.96

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; BOT= Qtd. média de botões sadios/planta; FLOR= Qtd.média de flores sadias/planta; FRU= Qtd. média de frutos sadios/planta; CAP= Qtd. média de capulhos/planta; CHU= Qtd. acumulada estruturas/planta caídas por pluviosidade; OUTROS= Qtd. acumulada de estruturas/planta caídas por outras causas; POT_SIM= Potencial acumulado de Botões até a respectiva Idade da Planta;

Pelos dados apresentados na Tabela 5.1, percebe-se que a planta acompanhou a dinâmica de formação de botões florais/planta, salientada no trabalho de MARUR (1980) necessária para a formação da carga de 19-24 frutos/planta.

Através das informações semanais, percebe-se que as precipitações pluviométricas começam a causar danos em flores e botões pequenos a partir dos 85 dias de idade da planta (segunda quinzena de janeiro), período em que o potencial de formação de botões/planta já se encontra quase que assegurado e dentro dos padrões teóricos. (Fig. 5.1.1)

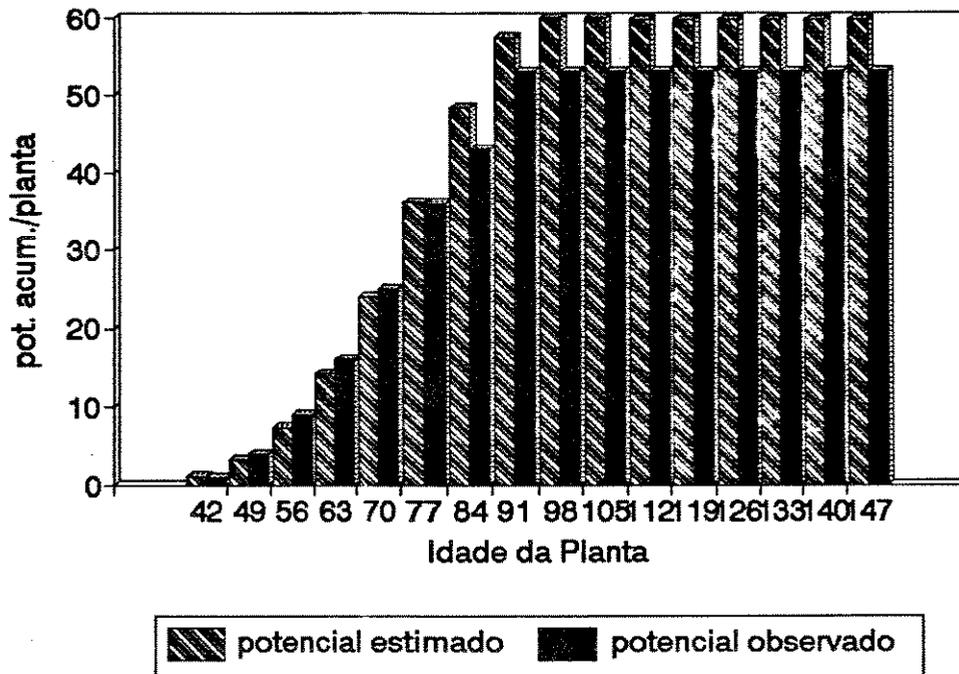


FIGURA 5.1.1:COMPARAÇÃO ENTRE POTENCIAIS DE BOTÕES SIMULADO E TEÓRICO.

Para esta lavoura, a quantidade potencial de botões/planta acumulada durante todo o período simulado (105 dias) foi de 59.96. Deste potencial, a planta perdeu, em média, 37.92 estruturas frutíferas/planta (63.24% do potencial), decorrente de precipitações pluviométricas e de sua própria fisiologia. Como já salientado, é sabido que a planta do algodoeiro libera botões florais na mesma taxa em que aparecem frutos novos (Sterling *et al.*, 1988). Esta liberação pode ser verificada na coluna OUTROS da Tabela 5.1. Ressalta-se também que este nível total de perdas obtido no final da simulação encontra-se dentro da faixa de 60-70%, descrito na literatura (Sterling *et al.*, 1988; Hearn *et al.* , 1980; GUTIERREZ *et al.* 1991a) (Fig. 5.1.2). Destas perdas, verifica-se que 41.53% foram decorrentes de pluviosidades e 58.47% de outros fatores.

Ao final da simulação constatou-se a ocorrência média de 3.80 frutos grandes/planta e 18.24 frutos abertos/planta, totalizando uma carga média de 22.04 estruturas/planta. Esta carga assegura a safra.

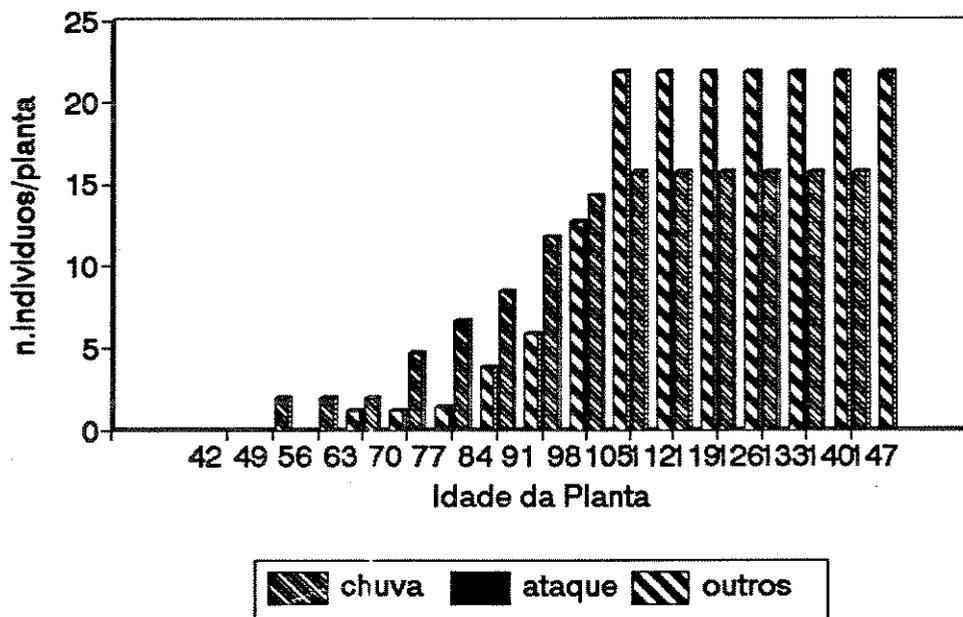


FIGURA 5.1.2: PERDAS DE ESTRUTURAS FRUTÍFERAS/PLANTA (CENÁRIO 1).

As quantidades médias de estruturas frutíferas sadias/planta, são fornecidas de forma discriminada, permitindo-se ter a noção de quantos botões(BOT), flores(FLOR), frutos(FRU) e capulhos(CAP) encontram-se presentes na planta em cada semana de simulação (FIG. 5.1.3).

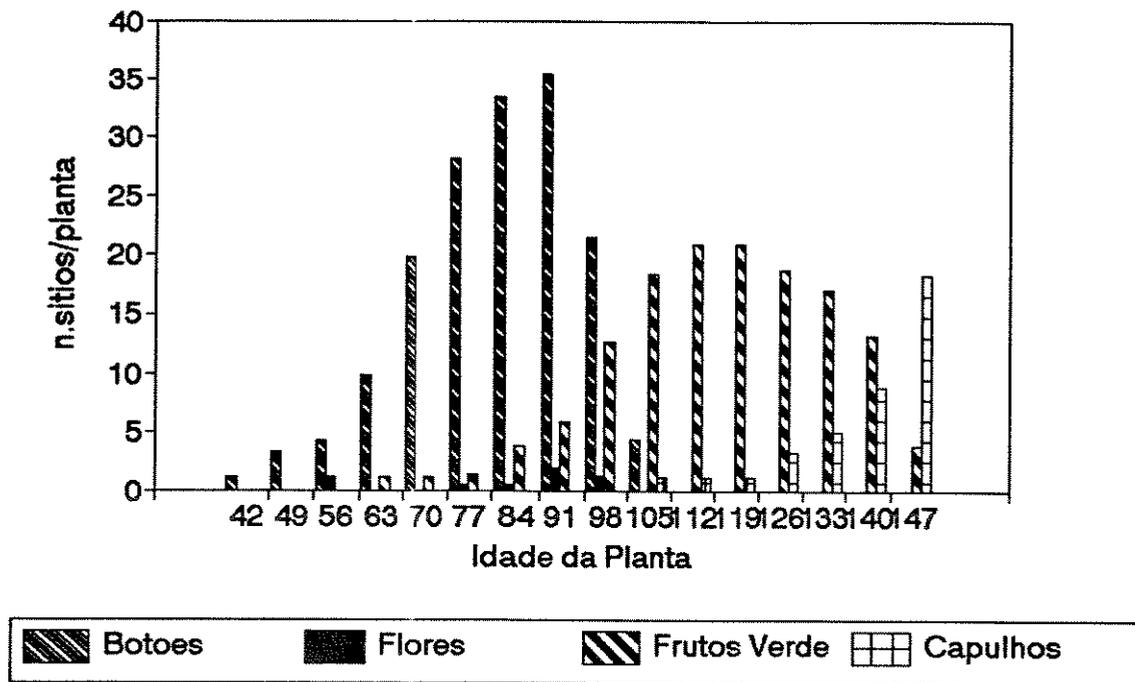


FIGURA 5.1.3: QUANTIDADE DE ESTRUTURAS SADIAS/PLANTA (CENÁRIO 1).

Verifica-se que a quantidade média de botões sadios/planta (BOT) apresentada por este simulador é mais elevada, quando comparado com coletas amostrais de trabalhos realizados por pesquisadores da área biológica. Isto decorre do fato desta ferramenta computar também os pontos de frutificação e os botões florais de tamanhos muito pequenos, muitas vezes desprezados em trabalhos específicos. Entretanto, visto que este simulador também permite quantificar a quantidade média de botões/planta presentes em cada faixa de

tamanho estudada (já salientada no Capítulo 2), é apresentada na Fig. 5.1.4 a quantidade média de botões florais sadios por tamanhos diferenciados ou seja, por tipos(0 a 4), estudados por este trabalho.

disponibilidade por tamanhos

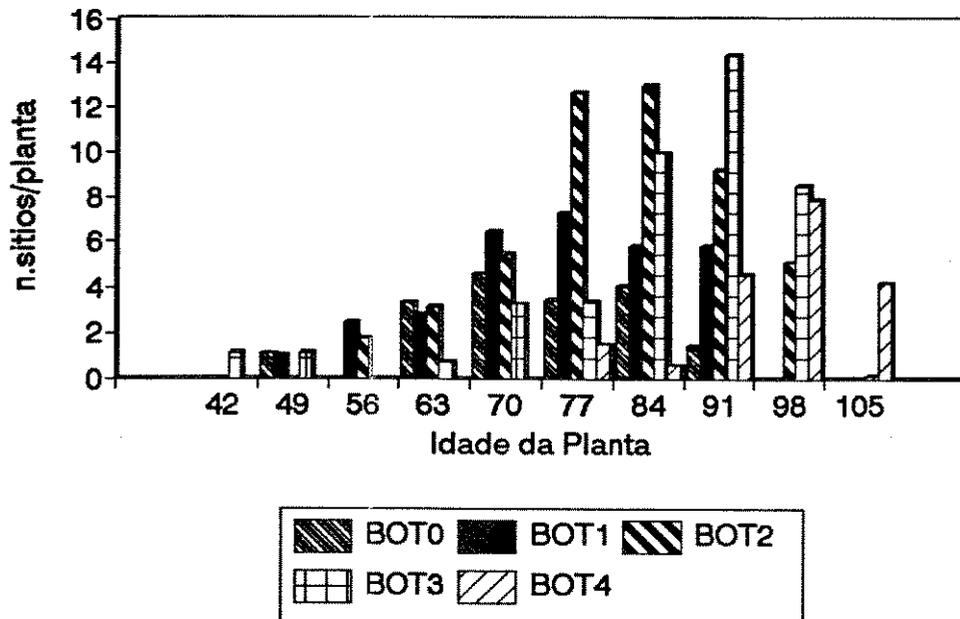


FIGURA 5.1.4: QUANTIDADE MÉDIA DE BOTÕES SADIOS/PLANTA DIFERENCIADA POR TIPOS (CENÁRIO 1).

Como um último comentário para este cenário, torna-se pertinente informar que , sendo os dados pluviométricos gerados aleatoriamente, várias simulações para o mesmo cenário, e com as mesmas quantidades de dias a serem simulados, podem apresentar quantidades finais de formação de carga diferenciadas. Entretanto, foi verificado que durante o ciclo da planta, sem precipitações elevadas (com baixas probabilidades de ocorrências), verificou-se a formação média de 18.89 a 23.65 capulhos/planta nas simulações realizadas. Percebeu-se também que, a partir da segunda quinzena de janeiro, as quedas de estruturas frutíferas mais delicadas (flores e botões pequenos) começam a elevar-se consideravelmente. Dessa forma, se durante este período de maior ocorrência de chuvas, grande parte dos botões florais estiverem concentrados nos tipos 0 e 1, estas estruturas cairão facilmente impedindo a formação ideal de frutos e, portanto, comprometendo, portanto, a safra do algodão. Estes resultados reforçam a teoria de que o plantio comercial deva ser iniciado entre de 20 de setembro e 20 de outubro, como orientado pelo MIP para a região de Campinas.

B. CENÁRIO COM A PRESENÇA DO BICUDO E SEM NENHUM TIPO DE CONTROLE DA PRAGA

Este cenário 2 foi planejado visando quantificar e analisar tendências decorrentes dos efeitos causados pela presença do bicudo em níveis prejudiciais à cultura do algodão, não contando, portanto, com nenhum tipo de ação de controle para a redução da população do inseto a níveis aceitáveis.

Este também é considerado um caso extremo, visto que delineará o perfil dos danos totais causados pelo inseto e o grau de necessidade de medidas de controle da sua população.

Os dados iniciais são os mesmos estabelecidos pelo cenário base, possuindo, contudo os danos iniciais já causados pela praga nos botões existentes, bem como a quantidade de adultos/planta visualizada. Ressalta-se que, no caso do usuário não apresentar a informação relativa à quantidade de adultos/planta, o simulador a estimará através dos sinais de ataques indicados pelo usuário.

Dessa forma, a entrada de dados deste cenário foi:

Data de plantio: 13/10

Idade atual da planta: 43

Total de dias desde o plantio até a idade atual da planta: 54

Quantidade média de botões/planta: 1.16

Quantidade média de botões/planta atacados: 0.01

Quantidade média de flores/planta: 0

Quantidade média de frutos/planta: 0

Quantidade média de adultos do bicudo: 0.02

Temperatura analisada pela média dos últimos 10 anos

Pluviosidade gerada aleatoriamente.

Quantidade de dias a simular: 105.

Os resultados relativos ao período simulado encontram-se em forma resumida nas Tabelas 5.2 e 5.3. Verifica-se que, na presença do bicudo, a quantidade total de estruturas disponíveis na planta são determinadas pelas quantidades sadias presentes na planta acrescidas da quantidade de estruturas atacadas e ainda presas na planta (ou, no caso de frutos, com poucos dias de ataque).

A coluna ATAQ, apresentada na Tabela 5.2, quantifica todas as estruturas (sítios) retiradas da planta por ataque do bicudo.

As perdas naturais verificadas na simulação, decorrentes da fisiologia da planta e de queda por pluviosidade, ficaram em 86.72% do potencial acumulado de botões (60.08 botões). Desta quantidade de estrutura perdidas, verifica-se que cerca de 26.26% foram danificadas por pluviosidade no período do ciclo da planta, 52.38% foram decorrentes de outros fatores (fisiologia, etc.) e 21.36% provocadas por ataque do bicudo.

Com a presença da praga sem controle químico ou biológico, verifica-se a formação final média de 7.98 capulhos/planta (13.28% do potencial). Esta quantidade compromete seriamente a safra, indicando forte tendência de inviabilidade comercial do cultivo do algodão na presença do bicudo, caso não haja o emprego de medidas de controle da praga com intuito de mantê-la em níveis aceitáveis.

Os dados demonstram também uma forte tendência do inseto em atacar botões florais até que este recurso se torne escasso (próximo dos 112 dias de idade da planta). A partir dos 99 dias de idade da planta é verificada uma intensa procura por frutos verdes para o ataque do inseto. Na presença de maior quantidade de botões florais, verifica-se que esta procura torna-se quase inexistente. Observou-se quantitativamente que, na presença abundante de botões florais não preferenciais, o inseto pode optar por utilizar frutos verdes para reprodução.

TABELA 5.2: RESULTADOS OBTIDOS PARA A PLANTA NA SIMULAÇÃO DA LAVOURA COM BICUDO E SEM CONTROLE (CENÁRIO 2).

IDADE	BOT	FLOR	FRU	CAP	CHU	ATAQ	OUTROS	POT_SIM
43	1.15	0	0	0	0	0	0	1.16
50	3.21	0	0	0	0	0.03	0	3.31
57	7.21	0	1.70	0	0	.13	0	9.12
64	11.43	0	0.99	0	.56	0.23	1.00	14.29
71	21.14	0	0.99	0	0.56	0.34	1.00	24.19
78	30.35	.50	1.20	0	2.25	0.59	1.21	36.30
85	36.09	.51	3.90	0	2.84	0.87	3.92	48.46
92	34.08	3.27	5.60	0	7.23	1.19	5.61	57.39
99	21.85	1.42	11.94	0	9.93	1.91	12.29	60.08
106	4.39	1.52	16.68	0.99	13.68	3.34	18.99	60.08
113	3.57	0	12.65	0.99	13.68	5.01	20.51	60.08
120	0	0	8.27	0.99	13.68	10.47	26.19	60.08
127	0	0	4.94	3.04	13.68	11.13	27.29	60.08
134	0	0	2.56	5.42	13.68	11.13	27.29	60.08
141	0	0	0	7.98	13.68	11.13	27.29	60.08
148	0	0	0	7.98	13.68	11.13	27.29	60.08

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; BOT= Qtd. média de botões sadios/planta; FLOR= Qtd.média de flores sadias/planta; FRU= Qtd. média de frutos sadios/planta; CAP= Qtd. média de capulhos/planta; CHU= Qtd. acumulada de estruturas/planta caídas por pluviosidade; OUTROS= Qtd. acumulada de estruturas/planta caídas por outras causas; POT_SIM= Potencial acumulado de Botões até a respectiva Idade da Planta;

TABELA 5.3: RESULTADOS OBTIDOS PARA O BICUDO NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 2.

IDADE	EM BOTAO:			EM FRUTO:			FPR	FEM	MAC
	OVO	LAR	PUP	OVO	LAR	PUP			
43	0	0	0	0	0	0	0.0104	0	0.0096
50	0.023	0	0	0	0	0	0	0.0098	0.0096
57	0.035	0.070	0	0	0	0	0	0.0098	0.0096
64	0.023	0.070	0.064	0.014	0	0	0	0.0098	0.0096
71	0.035	0.070	0.064	0	0.014	0	0.022	0.0098	0.030
78	0.11	0.12	0.055	0	0	0.011	0.022	0.034	0.054
85	0.18	0.28	0.12	0	0	0	0.023	0.055	0.079
92	0.24	0.41	0.29	0	0	0	0.032	0.074	0.10
99	0.41	0.58	0.38	0	0	0	0.094	0.12	0.21
106	0	0.45	0.55	0.92	0.71	0	0.14	0.23	0.36
113	0.47	0	0.35	1.04	2.38	0.78	0.17	0.39	0.53
120	0	1.05	0	2.17	2.33	2.47	0.18	0.54	0.85
127	0	0	0.82	2.63	5.01	2.34	0.16	0.60	1.75
134	0	0	0	2.67	5.17	4.60	0.39	0.70	2.88
141	0	0	0	0	4.43	4.68	3.28	0.78	4.48
148	0	0	0	0	0	4.10	3.27	2.64	5.84

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; OVO= Qtd. média de ovos de bicudo/botão ou fruto/planta; LAR= Qtd.média de larvas de bicudo/botão ou fruto/planta; PUP= Qtd. média de pupas de bicudo/botão ou fruto/planta FPR= Qtd. média de fêmeas pré-ovipositoras de bicudo/planta; FEM= Qtd. média de fêmeas ativas do bicudo/planta; MAC= Qtd. média de machos do bicudo/planta;

Através dos resultados obtidos, foi observado um rápido aumento populacional da praga a partir dos 71 dias de idade da planta, decorrente do aparecimento dos novos adultos gerados a partir da população colonizadora.

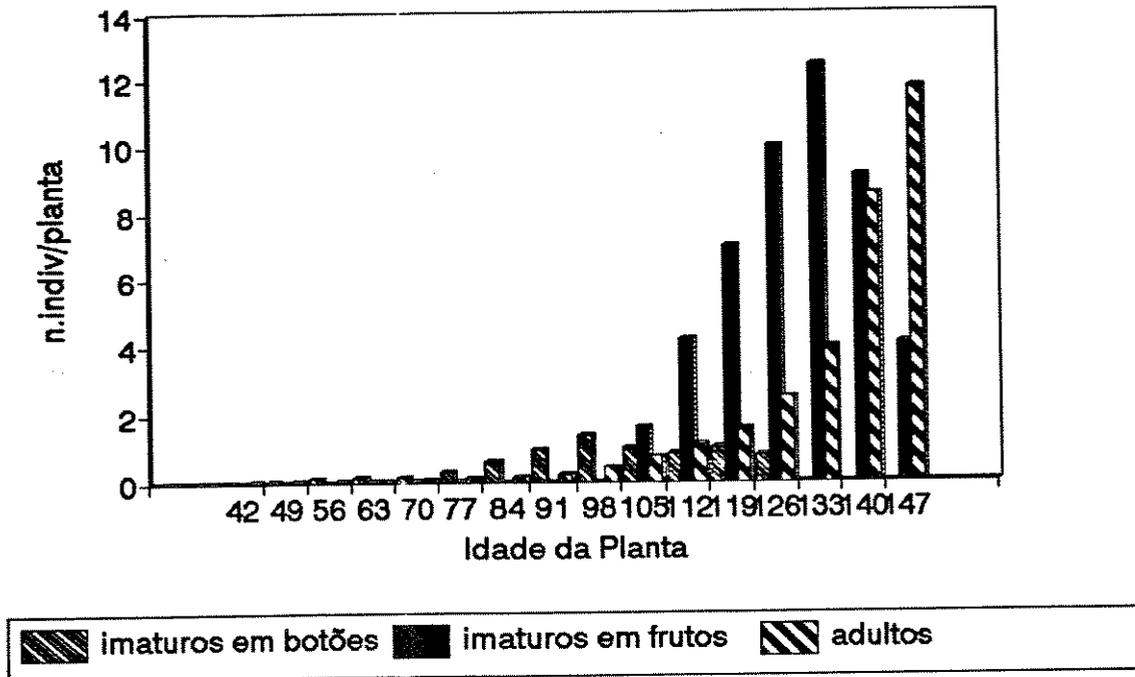


FIGURA 5.1.5: INDIVÍDUOS DO BICUDO (CENÁRIO 2).

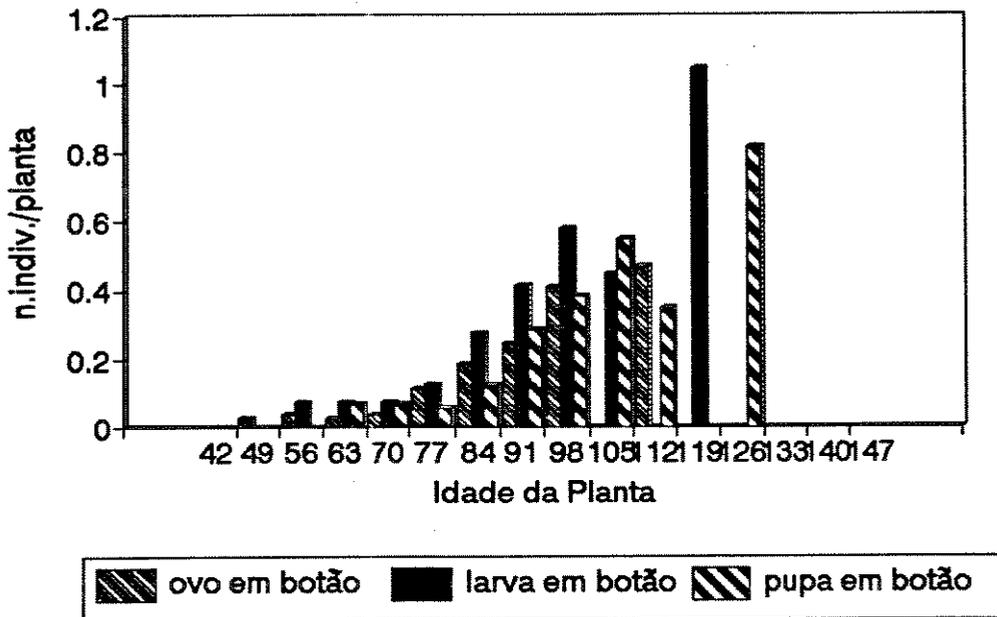


FIGURA 5.1.6: FASES IMATURAS DO BICUDO EM BOTÃO (CENÁRIO 2).

A partir dos 106 dias de idade da planta, a simulação constata a tendência de aumento nos danos causados em frutos verdes decorrentes de oviposições das fêmeas do inseto.

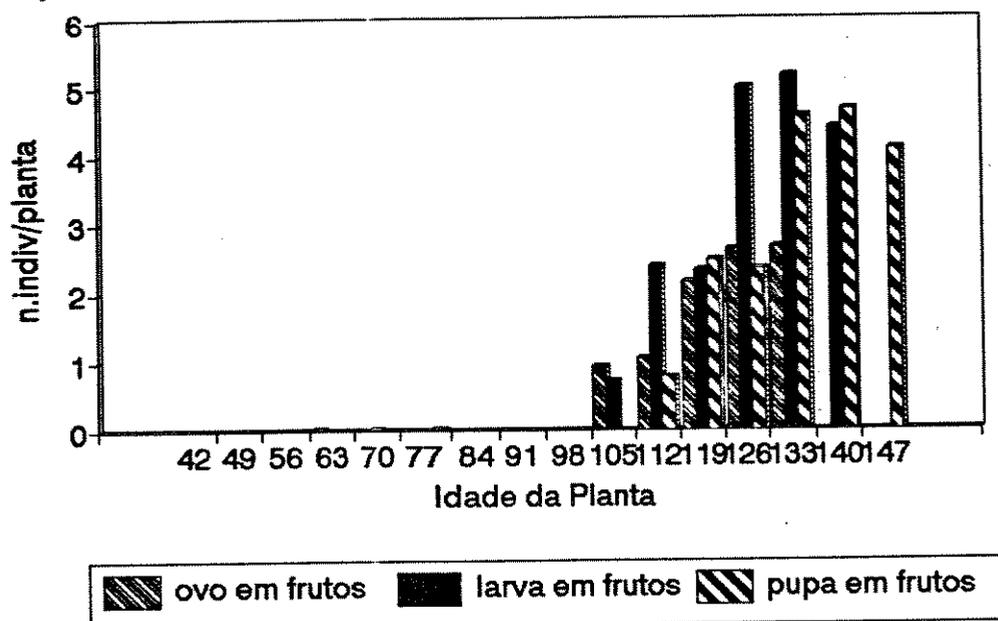


FIGURA 5.1.7: FASES IMATURAS DO BICUDO EM FRUTOS VERDES (CENÁRIO 2)

A preferência da praga por botões florais de tamanhos maiores diminuiu a disponibilidade de botões, além de retardar o aparecimento de flores e frutos verdes.

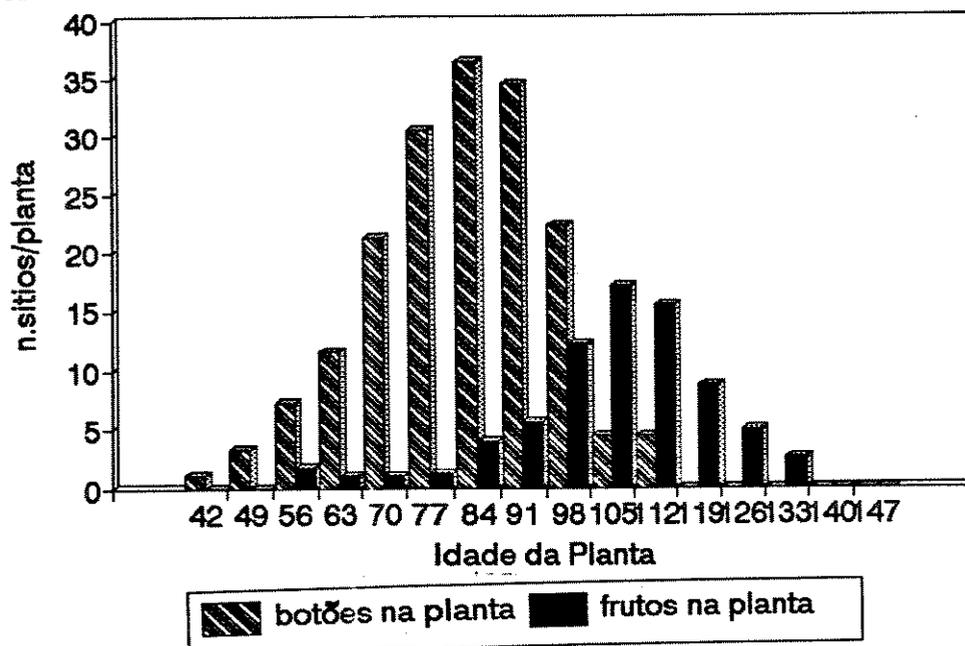


FIGURA 5.1.8: DISPONIBILIDADE DE BOTÕES E FRUTOS (CENÁRIO 2).

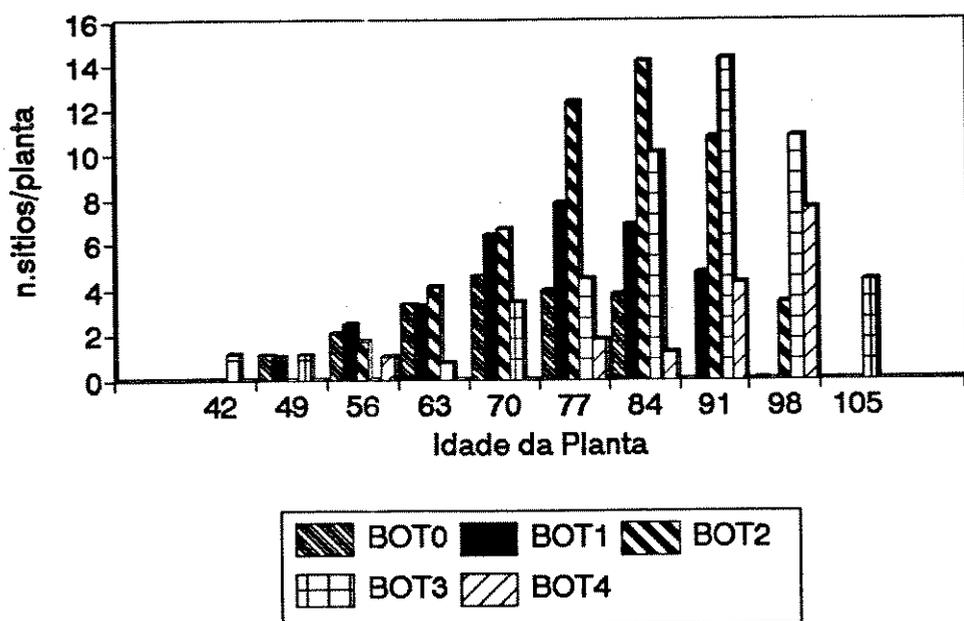


FIGURA 5.1.9: BOTÕES/PLANTA DIFERENCIADOS POR TAMANHO (CENÁRIO 2).

Em decorrência da geração de pluviosidades ter sido aleatória, este cenário apresentou menor índice de perdas de estruturas frutíferas ocasionados por este fator, quando comparado ao cenário anterior. Este fato também contribuiu para que botões de tamanhos menores (BOT0, BOT1 e BOT2) continuassem disponíveis na planta.

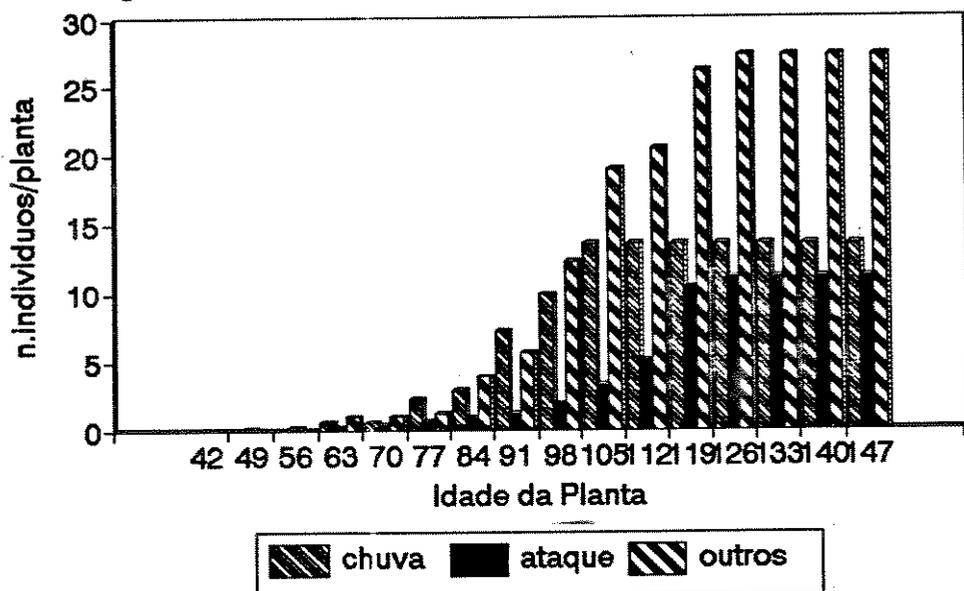


FIGURA 5.1.10: ESTRUTURAS FRUTÍFERAS NÃO SUCEDIDAS (CENÁRIO 2).

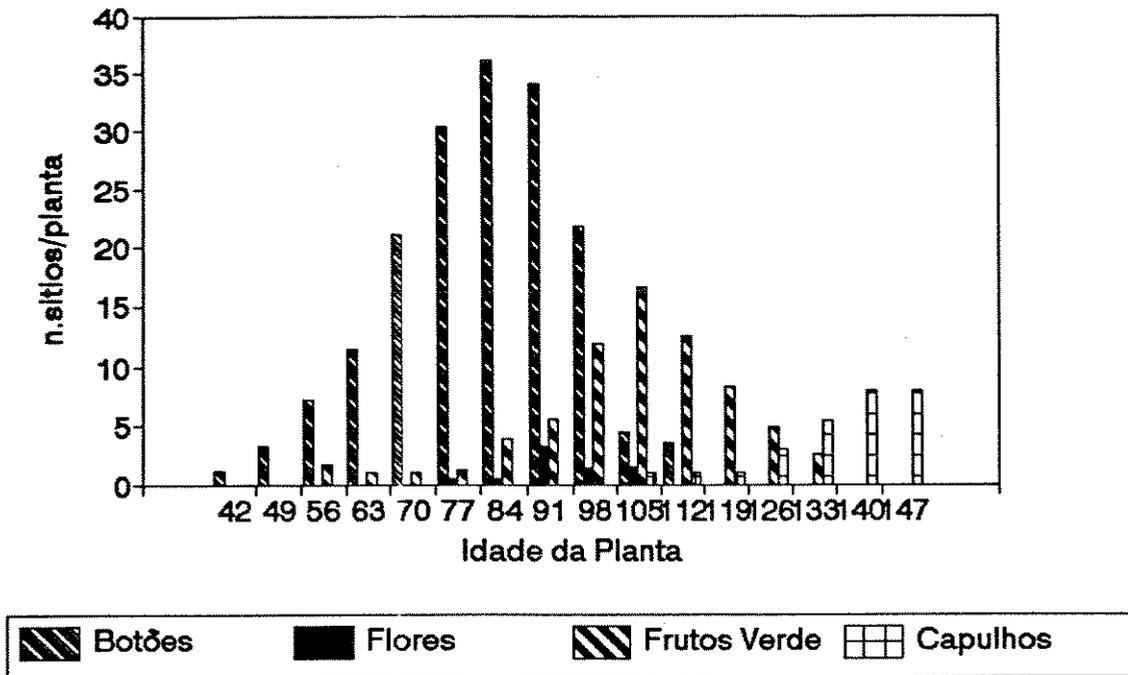


FIGURA 5.1.11: ESTRUTURAS FRUTÍFERAS/PLANTA (CENÁRIO 2).

Através das tendências evidenciadas pela simulação, na presença da praga sem um controle efetivo, constata-se que de fato são imprescindíveis ações de controle no intuito de manter a população da praga em níveis populacionais baixos.

C. CENÁRIO COM BICUDO E CONTROLE POR INSETICIDA SELETIVO

O presente cenário avalia a mortalidade de adultos de bicudo, causada pela aplicação de baterias de inseticidas seletivos, lançadas na cultura toda vez que, em botão ou fruto verde, seja alcançado o Limiar Econômico.

A decisão de iniciar as operações de controle químico é tomada pelo sistema especialista que verifica as condições do meio ambiente antes de efetuar o lançamento do produto. Dessa forma, antes da decisão de lançamento do inseticida, são verificadas a ocorrência de precipitações pluviométricas, que inviabilizariam a aplicação do produto ou comprometeriam sua eficiência no controle, além dos danos causados pela praga em botões e frutos, a presença de bracon e a proximidade de comunidades na região de aplicação do produto químico.

Esta simulação foi planejada apoiada nos dados do cenário base já descrito anteriormente.

Plantio: 13/10

Idade da Planta: 43 dias

Quantidade média de botões/planta: 1.16

Quantidade média de botões atacados/planta: 0.01

Quantidade média de adultos do bicudo/planta: 0.02

Não são verificadas flores nem frutos.

Análise de pluviosidade aleatória

Análise de temperatura pela média dos últimos dez anos

Não será analisada a presença de bracon.

As principais informações obtidas para a simulação de 105 dias são apresentadas nas tabelas 5.4 e 5.5.

TABELA 5.4: RESULTADOS OBTIDOS PARA A PLANTA NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3.

IDADE	BOT	FLOR	FRU	CAP	CHU	ATAQ	OUTROS	POT_SIM
43	1.15	0	0	0	0	0	0	1.16
50	3.22	0	0	0	0	0.03	0	3.31
57	7.22	0	0	0	0	0.12	0	7.42
64	11.79	0	1.00	0	0.20	0.22	1.01	14.29
71	21.52	0	1.00	0	0.20	0.33	1.01	24.19
78	31.92	0.50	1.21	0	0.65	0.55	1.22	36.30
85	36.26	0.51	3.91	0	2.84	0.96	3.92	48.46
92	36.50	3.18	5.99	0	2.79	1.06	6.00	57.60
99	22.39	1.16	14.32	0	4.35	1.74	14.37	61.02
106	5.21	1.52	18.51	1.00	6.94	1.90	20.49	61.02
113	0	0	20.30	1.00	12.31	2.18	23.22	61.02
120	0	0	20.26	1.00	13.77	2.76	23.22	61.02
127	0	0	18.20	3.05	13.77	2.78	23.22	61.02
134	0	0	15.33	5.91	13.77	2.78	23.22	61.02
141	0	0	9.26	11.99	13.77	2.78	23.22	61.02
148	0	0	3.48	17.78	13.77	2.78	23.22	61.02

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; BOT- Qtd. média de botões sadios/planta; FLOR= QTD. média de flores sadias/planta; FRU= Qtd. média de frutos sadios/planta; CAP= Qtd. média de capulhos/planta; ATAQ= Quantidade média de estruturas atacadas pelo bicudo/planta; OUTROS= Qtd. acumulada de estruturas/planta caídas por outras causas; POT_SIM= Potencial acumulado de botões até a respectiva idade da planta.

TABELA 5.5: RESULTADOS OBTIDOS PARA O BICUDO NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 3.

IDADE	EM BOTAO:			EM FRUTO:			FPR	FEM	MAC
	OVO	LAR	PUP	OVO	LAR	PUP			
43	0	0	0	0	0	0	0.0104	0	0.0096
50	0.012	0	0	0	0	0	0	0.0098	0.0096
57	0.035	0.059	0	0	0	0	0	0.0098	0.0096
64	0.023	0.070	0.055	0.014	0	0	0	0.0098	0.0096
71	0.035	0.070	0.064	0	0.014	0	0.019	0.0098	0.027
78	0.098	0.11	0.055	0	0	0.011	0.022	0.031	0.051
85	0.17	0.25	0.11	0	0	0	0.023	0.052	0.066
92	0.23	0.40	0.26	0	0	0	0.027	0.070	0.097
99	0	0.25	0.37	0	0	0	0.039	0.0030	0.039
106	0	0	0.19	0	0	0	0.11	0.0074	0.11
113	0	0	0	0	0	0	0.0037	0.021	0.024
120	0	0	0	0	0.0046	0	0	0.0004	0.0004
127	0	0	0	0	0	0.0036	0	0.0004	0.0004
134	0	0	0	0	0	0	0.0014	0.0004	0.0017
141	0	0	0	0	0	0	0	0.0018	0.0017
148	0	0	0	0	0	0	0	0.0016	0.0014

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; OVO= Qtd. média de ovos do bicudo/(botão ou fruto)/planta; LAR= Qtd. média de larvas do bicudo/(botão ou fruto)/planta; PUP= Qtd. média de pupas de bicudo/(botão ou fruto)/planta; FPR= Qtd. média de fêmeas pré ovipositoras do bicudo/planta; FEM= Qtd. média de fêmeas ativas do bicudo/planta; MAC= Qtd. média de machos do bicudo/planta.

Para este cenário, ações de controle químico seletivo foram determinadas duas vezes pelo sistema especialista. A primeira delas, aos 93 dias de idade da planta, quando foi constatado o Limiar Econômico em botões florais e, a segunda, aos 112 dias de idade da planta, quando foi alcançado o Limiar Econômico em frutos verdes. Durante todo o período de tempo simulado não foram alcançados os Níveis Econômicos de Danos em botões ou frutos verdes.

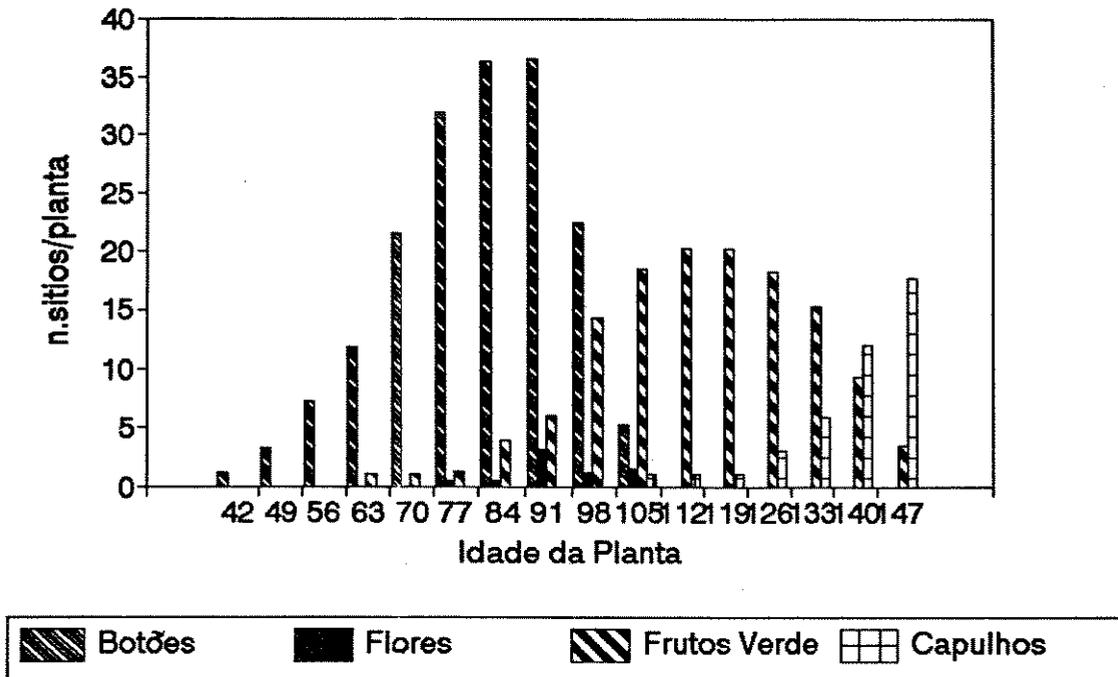


FIGURA 5.1.12 : ESTRUTURAS FRUTÍFERAS DISPONÍVEIS (CENÁRIO 3).

Analisando-se o arquivo AMBIENTE.DAT, constatou-se que a população da praga começou a aproximar-se do Limiar Econômico a partir dos 83 dias de idade da planta, quando 1.05 botões/planta, em média, já se encontravam danificados. Neste mesmo dia, verificou-se que a quantidade de frutos verdes danificados era bem inferior que a de botões (0.011 frutos/planta em média).

Apesar da ocorrência de chuvas no período, nenhuma das ações de controle químico para esta simulação foi impedida. Assim sendo, as ações do Sistema Especialista foram seguidas exatamente nos dias em que os Limiares Econômicos foram atingidos. Entretanto, ressalta-se que, para outras simulações realizadas com a mesma entrada de dados, ao ser atingido o Limiar Econômico, as ações de controle foram muitas vezes retardadas pelo Sistema

Especialista. Isto decorreu da verificação de mm de pluviosidades comprometedores à atuação eficiente do produto químico.

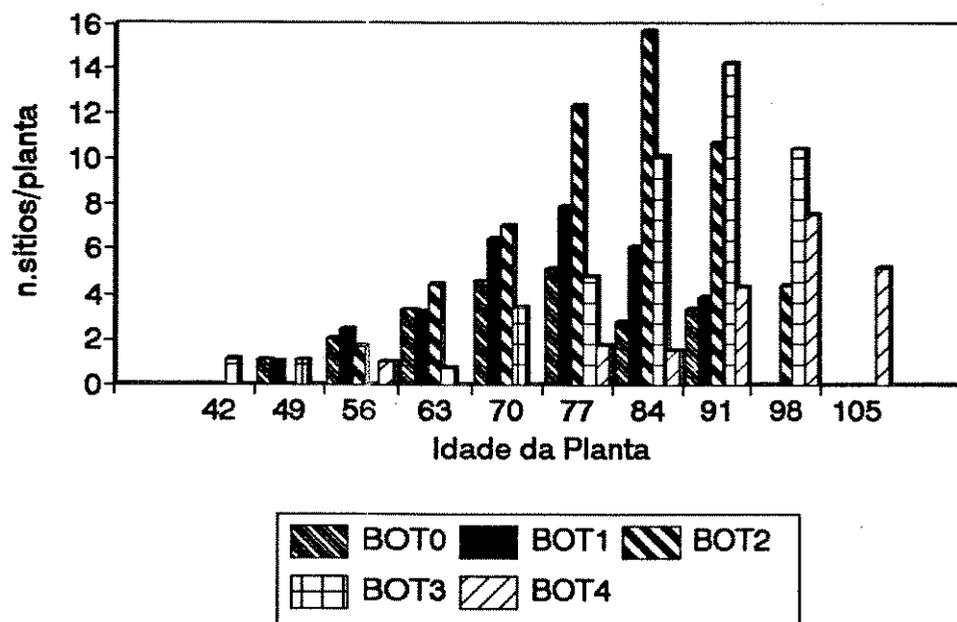


FIGURA 5.1.13: DISPONIBILIDADE DE BOTÕES/PLANTA DE TAMANHOS DIFERENCIADOS (CENÁRIO 3).

Em todas as situações simuladas, verificou-se que os Limiares Econômicos de botões e frutos verdes estabelecidos asseguravam a safra do algodão, sempre que as precipitações pluviométricas encontravam-se dentro das médias mensais da região durante o período do ciclo da planta.

Em uma das simulações realizadas, onde ocorreram chuvas atípicas no período de formação de frutos pequenos, as ações de controle já tomadas não asseguraram a safra, visto que várias estruturas caíram em decorrência de chuva torrencial e não pela atuação da praga que já se mostrava em níveis populacionais aceitáveis.

Perdidas por:

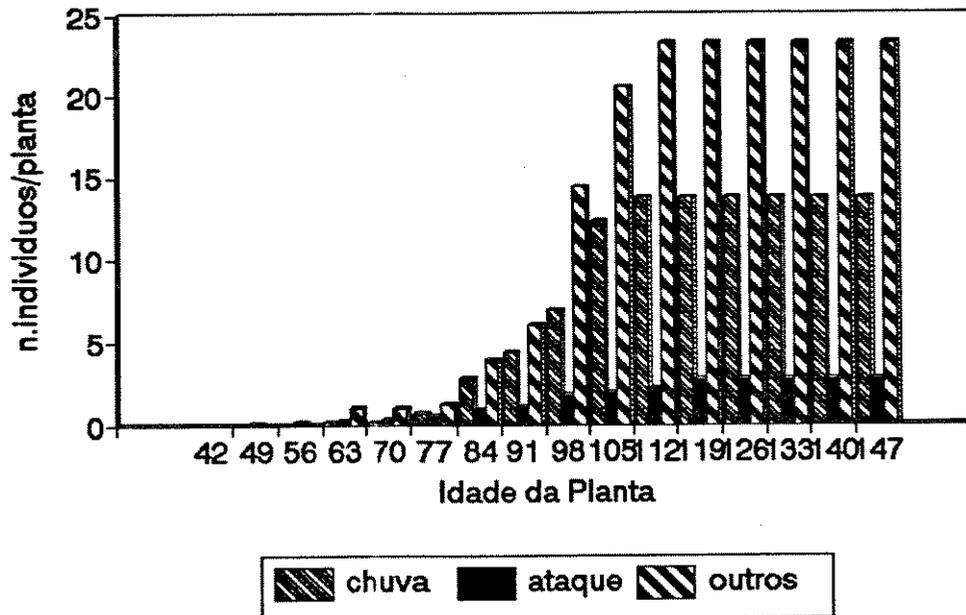


FIGURA 5.1.14: ESTRUTURAS FRUTÍFERAS NÃO SUCEDIDAS (CENÁRIO 3).

A atuação do inseticida seletivo, na redução da população adulta da praga, pode ser acompanhada pelas Fig. 5.1.15 e Fig.5.1.16. Os valores acumulados de mortalidade de adultos por inseticida, estabilizam-se a partir dos 191 dias de idade da planta (Fig. 5.1.15) . A diminuição da população de adultos da praga (Fig. 5.1.16) indica que as ações de controle foram eficientes. No final do ciclo, verifica-se a presença de adultos em quantidades quase que insignificantes. Estes adultos emergem das fases imaturas do inseto desenvolvidas em frutos verdes e, portanto, não atingidas pelo inseticida seletivo.

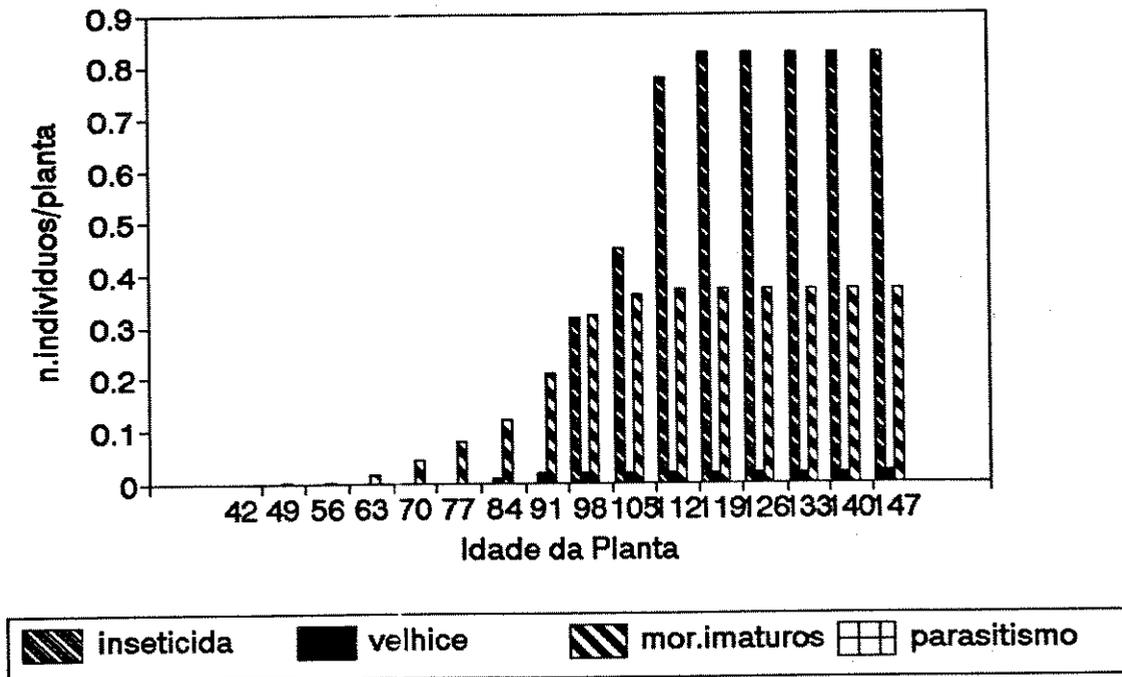


FIGURA 5.1.15: MORTALIDADE DE BICUDOS (CENÁRIO 3).

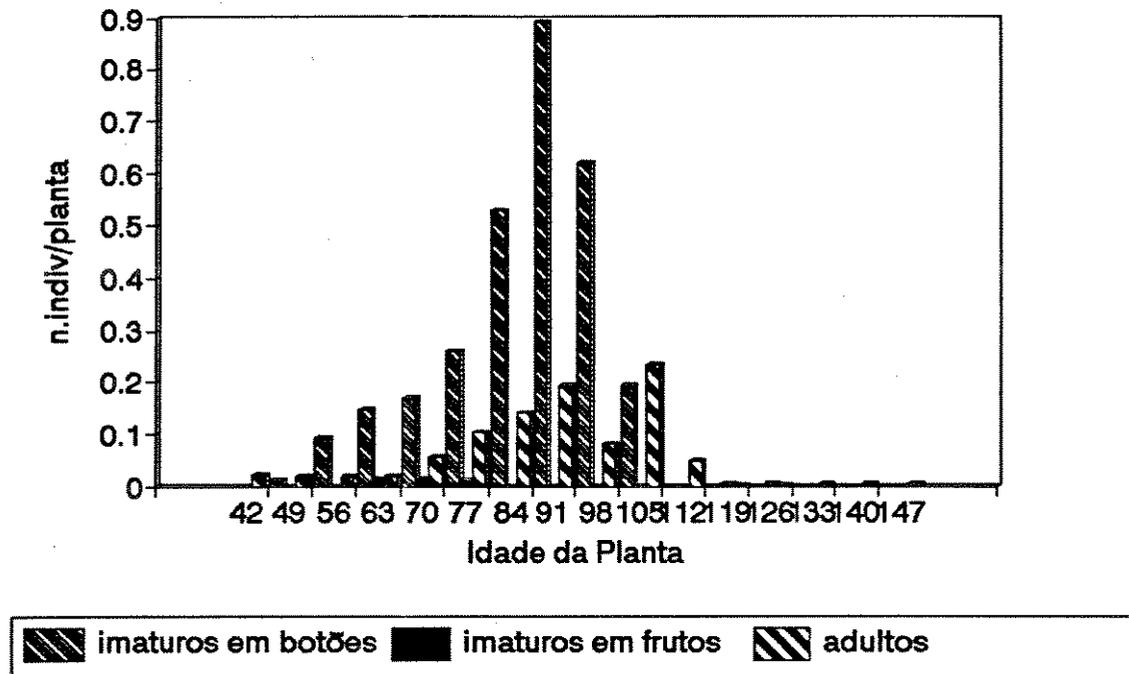


FIGURA 5.1.16: INDIVÍDUOS DO BICUDO (CENÁRIO 3).

A redução populacional da praga também se reflete na quantidade de sítios utilizados para reprodução. As Fig.5.1.17 e Fig. 5.1.18, indicam o pico de ovos desenvolvendo-se em botões aos 91 dias de idade da planta. Na semana seguinte, ocorre a aplicação de inseticida seletivo, verificando-se a ausência de novas oviposições em botões, decorrentes da redução da população de fêmeas ativas do inseto.

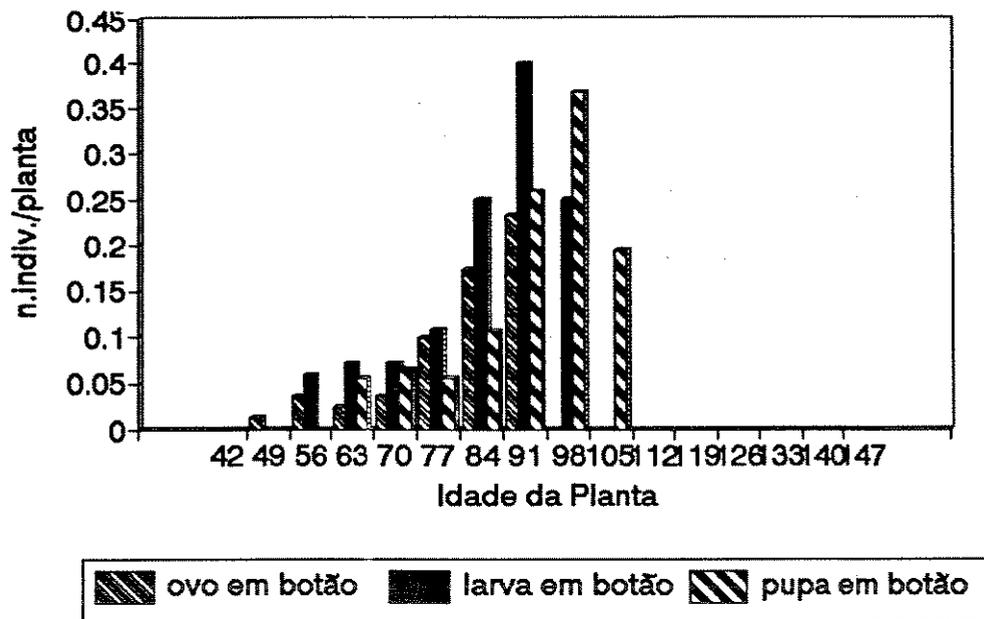


FIGURA 5.1.17: FASES IMATURAS DO BICUDO DESENVOLVENDO-SE EM BOTÕES (CENÁRIO 3).

A partir dos 121 dias de idade da planta, verifica-se a presença de alguns indivíduos desenvolvendo-se em frutos verdes. Esta população é bem reduzida devido à atuação de controle químico iniciada aos 112 dias de idade da planta.

A ausência de sítios propícios para um bom desenvolvimento de fases imaturas no final do ciclo indicam forte tendência da praga à não utilização de frutos maiores para oviposições. Os ataques subsequentes são decorrentes, na maioria das vezes, da alimentação do inseto. Este fato, deixa evidente que, na ausência de recursos alimentares, esta pequena população deva se deslocar para outros locais onde a disponibilidade do recurso seja maior.

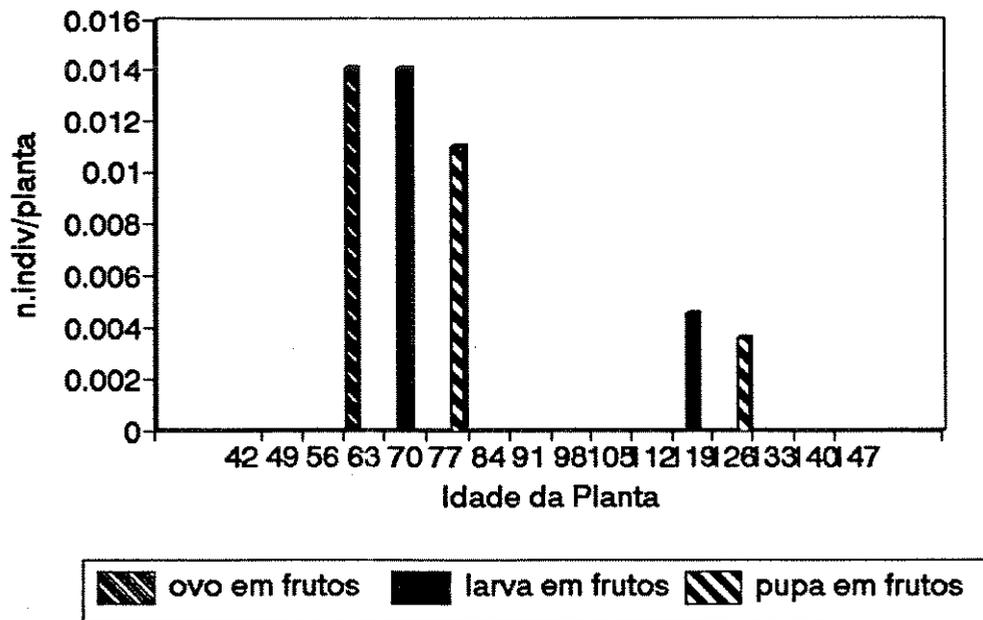


FIGURA 5.1.18: FASES DE DESENVOLVIMENTO DO BICUDO EM FRUTOS VERDES (CENÁRIO 3).

A quantidade média de indivíduos adultos/planta resultantes no final do ciclo, levam-nos a intuir que esta população, encontrando alimento ou utilizando-se de recursos que lhes são peculiares, será responsável pela colonização do ciclo seguinte.

A orientação do MIP para a região, deixa clara a extrema necessidade da eliminação de restos culturais. O intuito é o de evitar que a praga possua alimento até o início do ciclo seguinte.

Os próximos cenários foram planejados para avaliar a eficiência do parasitismo de *Bracon vulgaris* em larvas do bicudo.

D. CENÁRIOS COM BICUDO E CONTROLE POR PARASITISMO

No intuito de avaliar a eficiência do parasitismo de larvas de bicudo por *Bracon vulgaris*, foram elaborados quatro cenários diferenciados pela quantidade inicial da população do parasitóide, bem como pela data em que esta população é lançada na cultura.

Os efeitos deste parasitismo foram avaliados visando analisar a contribuição deste parasitóide no sentido de impedir o aparecimento de novos adultos do bicudo.

A decisão de iniciar a operação de controle por bracon é fornecida pelo usuário quando informa a data de entrada desta população. A quantidade de indivíduos a serem lançados na lavoura também é indicada como entrada de dados.

Os cenários adotaram os dados base já fornecidos anteriormente, tanto com relação ao bicudo quanto à planta e aos dados abióticos. Os dados variantes em cada cenário apresentado a seguir são datas de entrada na lavoura e quantidades de indivíduos lançados.

Os cenários planejados foram:

- D1. Entrada de Bracon: 1 de dezembro; pop_inicial: 0.56 bracons/planta;
- D2. Entrada de Bracon: 1 de dezembro; pop_inicial: 1.56 bracons/planta;
- D3. Entrada de Bracon: 1 de dezembro; pop_inicial: 0.05 bracons/planta;
- D4. Entrada de Bracon: 21 de dezembro; pop_inicial: 1.56 bracons/planta;

Os cenários das seções D1, D2 e D3 apresentam a entrada da população de Bracon no mesmo dia, entretanto, com quantidades variadas de indivíduos presentes na data de entrada desta população. A quantidade fornecida para a pop_inicial consiste no número médio de indivíduos/planta. Para que se tenha uma noção da dimensão real dessa população, que deve ser criada em laboratório, torna-se fundamental multiplicarmos o número de indivíduos/planta, estabelecido em cada cenário, pela quantidade de plantas encontradas normalmente em uma lavoura de 1 hectare: 50.000 plantas. Dessa forma, percebe-se que a quantidade correspondente a 1.56 bracons/planta representa uma alta população (cerca de 78.000 bracons) deste parasitóide sendo lançada em um único dia. As demais concentrações iniciais deste parasitóide não são raras de serem encontradas. Acrescente-se, contudo, que a quantidade mais comum de ser encontrada é aquela representada pelo cenário da seção D3.

O cenário da seção D4, apresenta-se deslocado algumas semanas dos cenários anteriores, contribuindo para a análise do retardamento em ações do controle biológico aplicado a este parasitóide.

D1. ENTRADA DE BRACON: 1 DE DEZEMBRO; POP_INICIAL: 0.56

As principais informações obtidas para a simulação de 105 dias são apresentadas nas tabelas 5.6, 5.7 e 5.8, a seguir.

TABELA 5.6: RESULTADOS OBTIDOS PARA A PLANTA NO CENÁRIO 4.

IDADE	BOT	FLOR	FRU	CAP	CHU	ATAQ	OUTROS	POT_SIM
43	1.15	0	0	0	0	0	0	1.16
50	3.21	0	0	0	0	0.03	0	3.31
57	4.17	1.00	0	0	0.92	0.12	0	6.28
64	9.94	0	0.98	0	0.92	0.22	1.00	13.15
71	19.71	0	0.98	0	0.92	0.34	1.00	23.05
78	29.47	0.52	1.19	0	2.24	0.49	1.21	35.16
85	29.23	0.51	3.70	0	7.26	0.53	3.72	44.99
92	32.13	1.90	5.56	0	8.33	0.61	5.58	54.14
99	20.52	0.28	10.27	0	14.61	0.66	10.29	56.65
106	1.24	0	16.82	0.98	18.44	0.68	18.47	56.65
113	1.24	0	16.82	0.98	18.44	0.69	18.47	56.65
120	0	1.24	16.82	0.98	18.44	0.70	18.47	56.65
127	0	0	15.99	3.04	18.44	0.70	18.47	56.65
134	0	0	14.33	4.70	18.44	0.70	18.47	56.65
141	0	0	10.33	8.60	18.44	0.71	18.47	56.65
148	0	0	3.42	15.61	18.44	0.71	18.47	56.65

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; BOT= Qtd. média de botões sadios/planta; FLOR= Qtd. média de flores sadias/planta; FRU= Qtd. média de frutos verdes sadios/planta; CAP= Qtd. média de capulhos/planta; ATAQ= Quantidade média acumulada de estruturas frutíferas /planta danificadas pelo ataque do bicudo; OUTROS= Qtd. média de estruturas danificadas por outros motivos; POT_SIM= Potencial de botões acumulados/planta até a respectiva Idade da Planta.

Neste cenário foi alcançado um potencial acumulado de 56.65 botões/planta, assegurando a média de 19.03 frutos/planta (33.48% do potencial).

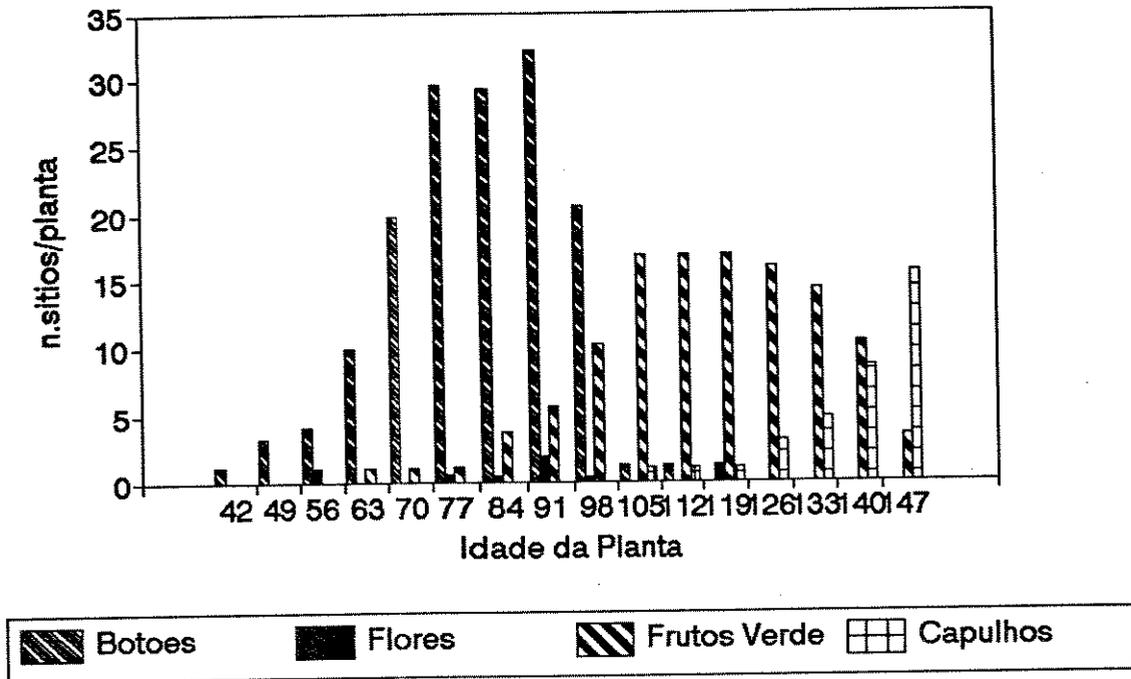


FIGURA 5.1.19: ESTRUTURAS FRUTÍFERAS DISPONÍVEIS (CENÁRIO 4).

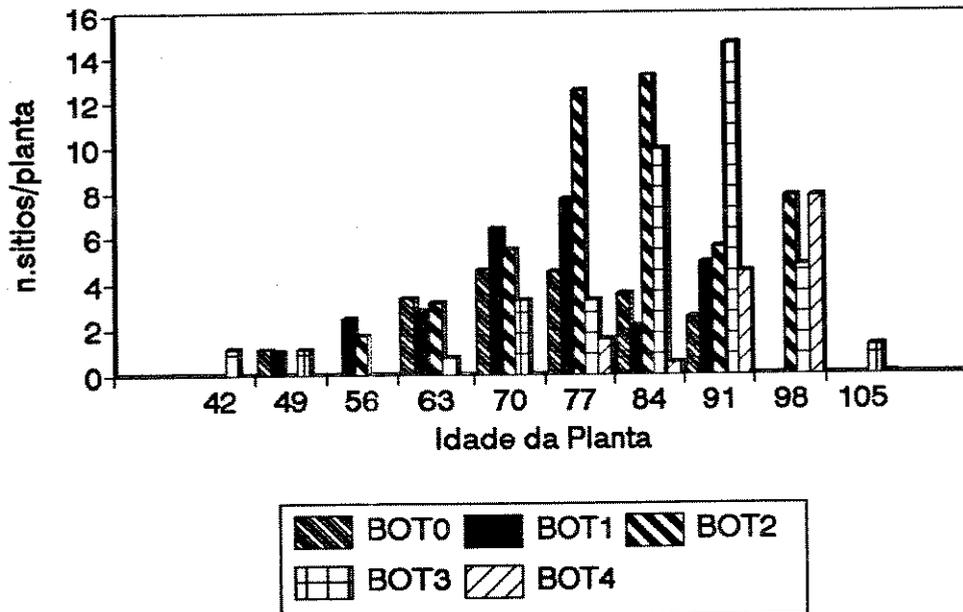


FIGURA 5.1.20: DISPONIBILIDADE DE BOTÕES/PLANTA DIFERENCIADOS POR TAMANHOS (CENÁRIO 4).

Foi verificado que 66.52% do potencial culminaram em estruturas não sucedidas. Dentre estas, verificou-se 49.03% de quedas decorrentes de pluviosidades no período do ciclo, 1.88% relacionadas a ataque do bicudo e 49.09% decorrentes de outros fatores.

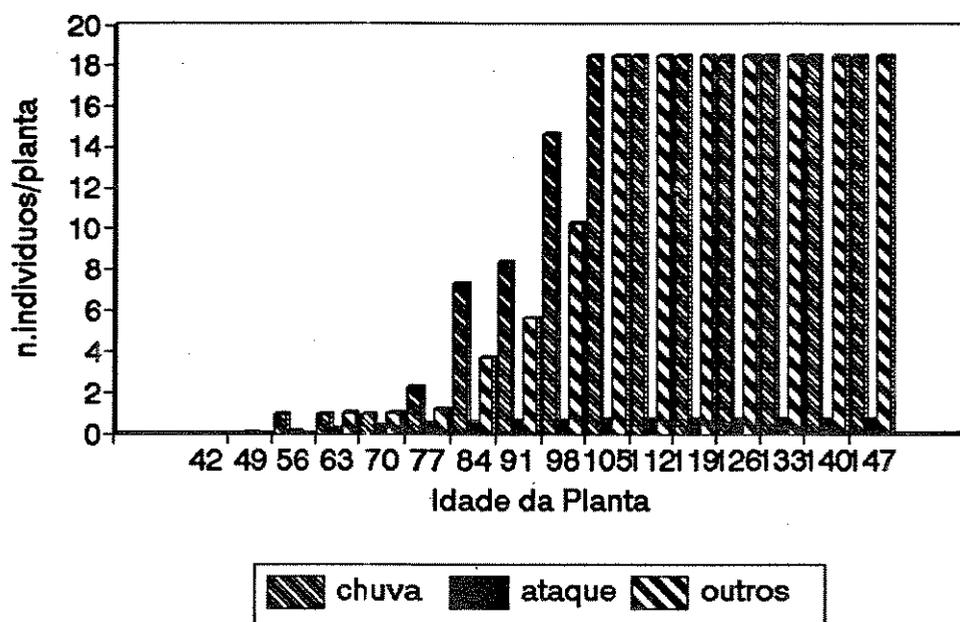


FIGURA 5.1.21: ESTRUTURAS NÃO SUCEDIDAS (CENÁRIO 4).

A presença de baixos índices populacionais da praga, decorrente da presença do parasitóide a partir dos 57 dias de idade da planta, assegurou a safra.

Embora o padrão de utilização de estruturas para oviposição do bicudo tenha sido evidenciado, percebe-se um baixo índice de fases imaturas desenvolvendo-se em botões e as quase esporádicas fases imaturas em frutos verdes.

A eficiência do parasitismo por bracon é confirmada na quase inexistente presença de pupas do bicudo.

Aos 113 dias de idade da planta, verifica-se a inexistência de adultos da praga, embora algumas poucas pupas ainda estejam em

desenvolvimento, contribuindo para o aparecimento de poucos adultos nas semanas posteriores.

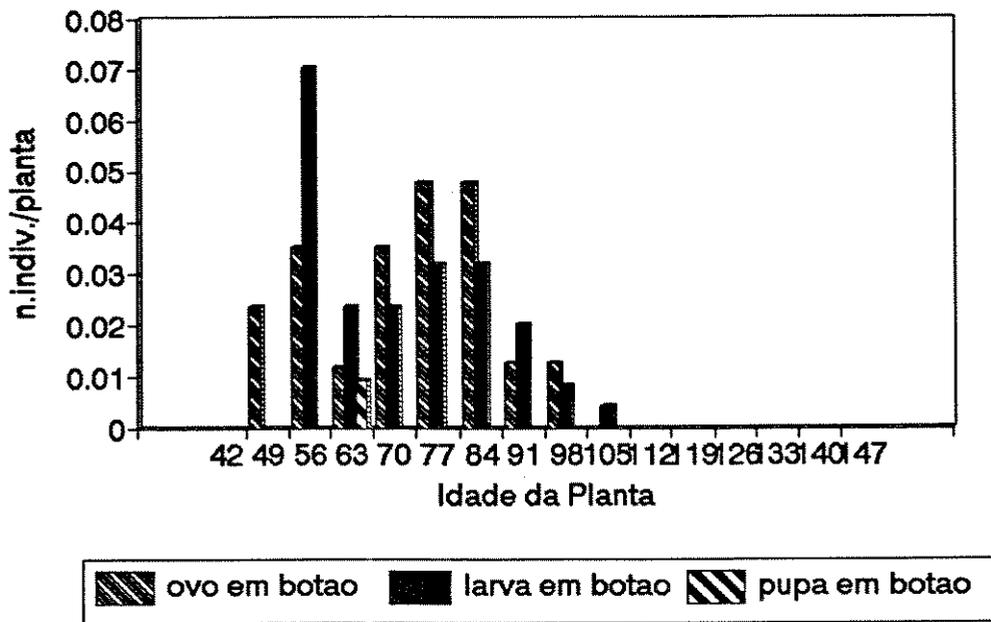


FIGURA 5.1.22: FASES IMATURAS DO BICUDO EM BOTÕES (CENÁRIO 4).

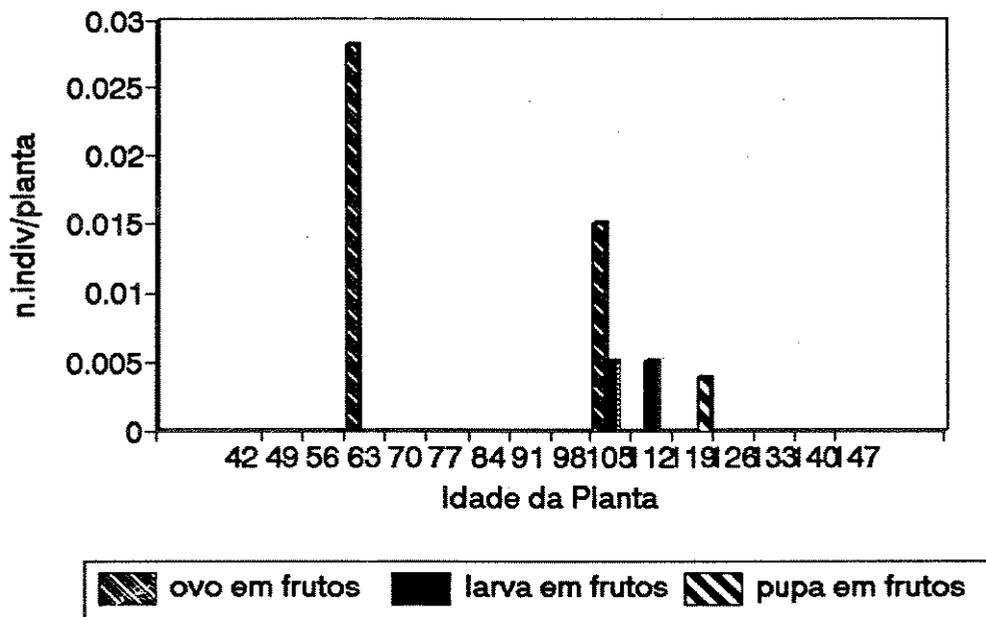


FIGURA 5.1.23: FASES IMATURAS DO BICUDO EM FRUTOS (CENÁRIO 4).

TABELA 5.7: RESULTADOS OBTIDOS PARA O BICUDO NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 4.

IDADE	EM BOTAO:			EM FRUTO:			FPR	FEM	MAC
	OVO	LAR	PUP	OVO	LAR	PUP			
43	0	0	0	0	0	0	0.0104	0	0.0096
50	0.023	0	0	0	0	0	0	0.0098	0.0096
57	0.035	0.070	0	0	0	0	0	0.0098	0.0096
64	0.011	0.023	0.0092	0.028	0	0	0	0.0098	0.0096
71	0.035	0.023	0	0	0	0	0.0037	0.0098	0.013
78	0.048	0.032	0	0	0	0	0	0.013	0.013
85	0.048	0.032	0	0	0	0	0	0.013	0.0034
92	0.012	0.020	0	0	0	0	0	0.0035	0.0034
99	0.012	0.0084	0	0	0	0	0	0.0035	0.0034
106	0	0.0042	0	0.015	0.0050	0	0	0.0035	0.0034
113	0	0	0	0	0.0050	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0.0039	0	0	0
127	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015
134	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015
141	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015
148	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; OVO= Qtd. média de ovos do bicudo/(botão ou fruto)/planta; LAR= Qtd. média de larvas do bicudo/(botão ou fruto)/planta; PUP= Qtd. média de pupas do bicudo/(Botão ou fruto)/planta; FPR= Qtd. média de fêmeas pré-ovipositoras de bicudo/planta; FEM= Qtd. média de fêmeas ativas do bicudo/planta; MAC= Qtd. média de machos do bicudo/planta.

Para este cenário foram observados índices semanais de parasitismo de larvas variando de 75.00% a 87.24%. A média de parasitismo registrada para o período simulado foi de 38.10%.

Os dados semanais relativos ao parasitismo estudado são apresentados na Tabela 5.8.

TABELA 5.8: PARASITISMO DE BRACON EM LARVAS DO BICUDO.

IDADE	TOTAL_LAR	ACUM_PAR	%_PARASIT
43	0	0	0
50	0	0	0
57	0.070	0	0
64	0.093	0.070	75.00
71	0.11	0.16	78.73
78	0.12	0.25	73.97
85	0.13	0.31	50.73
92	0.13	0.42	84.72
99	0.048	0.46	83.06
106	0.039	0.49	76.08
113	0.046	0.53	87.24
120	0	0.53	0
127	0	0.53	0
134	0	0.53	0
141	0	0.53	0
148	0	0.53	0
MÉDIA:			38.10%

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; TOTAL_LAR= Qtd. total de larvas de bicudo/(botão ou fruto)/planta; ACUM_PAR= Qtd. acumulada de larvas de bicudo parasitadas por bracon; %PARASIT= percentagem de parasitismo de larvas de bicudo por Bracon;

O efeito desse parasitismo também pode ser verificado na Fig.5.1.24, onde se percebe a quase ausência da mortalidade decorrente de troca de fases imaturas de desenvolvimento e a acentuada mortalidade decorrente do parasitismo.

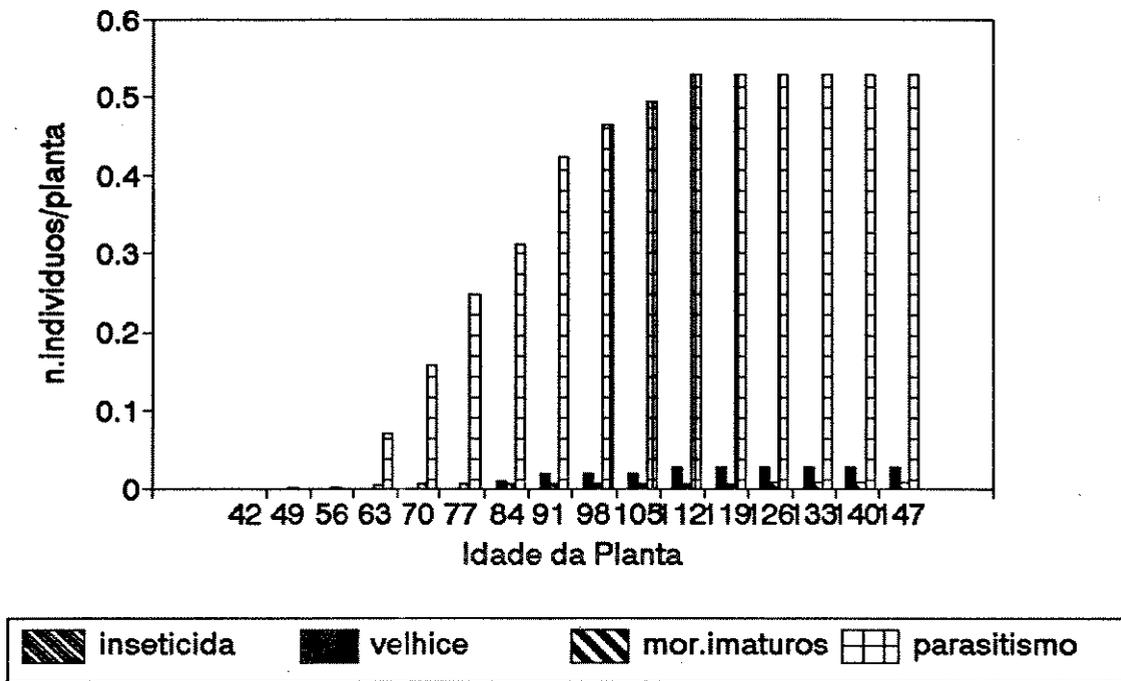


FIGURA 5.1.24: MORTALIDADE DE BICUDOS (CENÁRIO 4).

A estabilidade verificada na coluna de parasitismo da Fig.5.1.24, a partir dos 121 dias de idade da planta, é decorrente da ausência de larvas neste período. Esta estabilidade culminou com a redução da população de bracon presente na lavoura, verificada no último dia da simulação. Entretanto, a população inicial de bracon lançada na cultura foi suficiente para assegurar a safra.

O cenário 5 apresentará a mesma data de entrada de Bracon na lavoura, diferenciando, porém, a quantidade inicial lançada.

D2. ENTRADA DE BRACON: 1 DE DEZEMBRO; POP_INICIAL:1.56

O cenário 5 apresenta a entrada da população de Bracon no mesmo dia do cenário anterior; entretanto, a quantidade média de indivíduos/planta lançados na lavoura foi correspondente a quase 3 vezes a quantidade média lançada no cenário 4.

As principais informações obtidas para a simulação de 105 dias estão nas tabelas 5.9, 5.10 e 5.11.

TABELA 5.9: RESULTADOS OBTIDOS PARA A PLANTA NO CENÁRIO 5.

IDADE	BOT	FLOR	FRU	CAP	CHU	ATAQ	OUTROS	POT_SIM
43	1.15	0	0	0	0	0	0	1.16
50	3.21	0	0	0	0	0.03	0	3.31
57	6.21	0.99	0	0	0	0.13	0	7.42
64	11.98	0	0.98	0	0	0.25	0.99	14.29
71	21.77	0	0.98	0	0	0.36	0.99	24.19
78	31.16	0.50	1.20	0	1.71	0.47	1.21	36.30
85	35.64	0.51	3.88	0	3.98	0.54	3.89	48.46
92	32.06	3.26	6.22	0	9.27	0.56	6.23	57.60
99	20.65	1.42	11.98	0	13.65	0.56	12.00	60.28
106	0	0.78	20.39	0.98	15.96	0.57	21.53	60.28
113	0	0	20.99	0.98	15.98	0.67	21.53	60.28
120	0	0	20.91	0.98	15.98	0.81	21.53	60.28
127	0	0	18.64	3.02	15.98	0.90	21.53	60.28
134	0	0	15.28	6.21	15.98	1.17	21.53	60.28
141	0	0	10.76	10.73	15.98	1.27	21.53	60.28
148	0	0	2.78	18.71	15.98	1.27	21.53	60.28

ONDE: IDADE= Idade da Planta; BOT= Qtd. média de botões sadios/planta; FLOR= Qtd. média de flores sadias/planta; FRU= Qtd. média de frutos sadios/planta; CAP= Qtd. média de capulhos/planta; CHU= Qtd. de estruturas danificadas/planta decorrente de pluviosidade; ATAQ= Qtd. de estruturas danificadas pelo bicudo; OUTROS= Qtd. de estruturas danificadas por outros motivos; POT_SIM= Potencia; de botões acumulados até a respectiva Idade da Planta.

O potencial acumulado de botões/planta, em média, observado para este cenário, atingido aos 99 dias de idade da planta, foi de 60.28 botões. Deste valor, constataram-se perdas de 64.34% (em média, 38.78 estruturas/planta), decorrentes de chuva (41.22%), ataque da praga (3.28%) e outros fatores (55.50%) (Fig. 5.1.27).

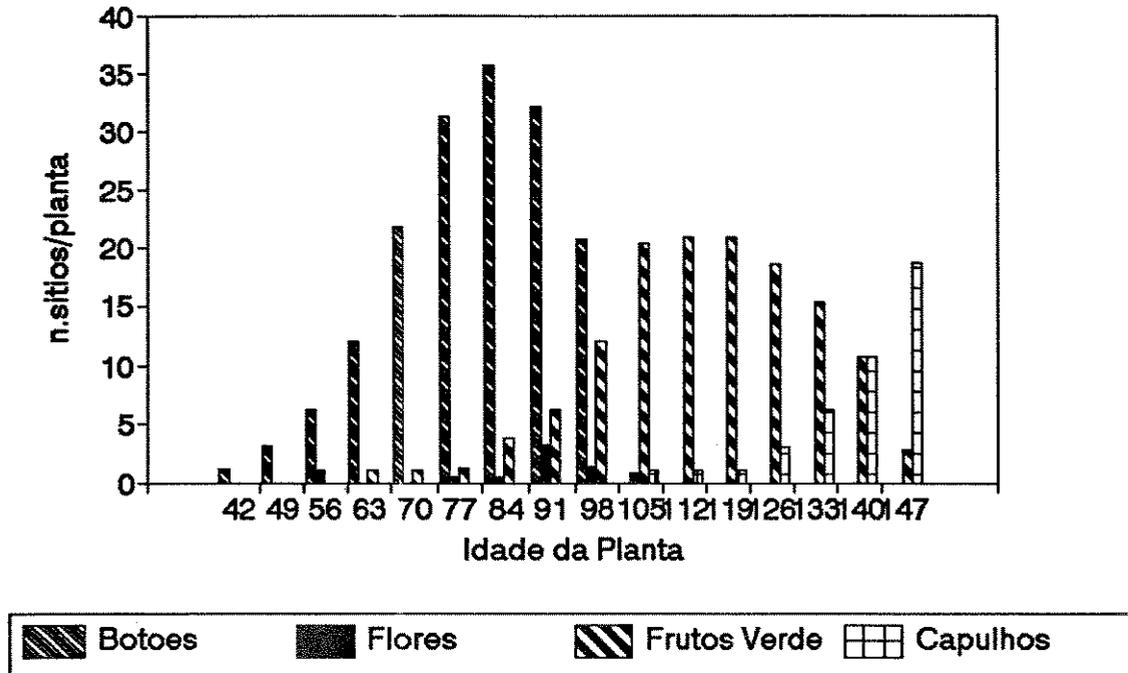


FIGURA 5.1.25: ESTRUTURAS FRUTÍFERAS/PLANTA DISPONÍVEIS(CENÁRIO 5).

As perdas de estruturas provocadas por pluviosidades também estiveram dentro das condições ambientais consideradas normais para o período do ciclo do algodão.

Com a formação de uma carga média de 21.49 estruturas/planta (35.66% do potencial de botões), representada pelos 2.78 frutos grandes/planta adicionados aos 18.71 capulhos/planta , em média, já disponíveis, a simulação não constatou perdas acima dos índices que asseguram a safra (Fig. 5.1.25).

Apesar do potencial de botões simulado ter ficado acima daquele observado por Marur (1980) , percebe-se neste acréscimo que botões novos cairão com maior facilidade em decorrência do aparecimento de uma grande quantidade de frutos/planta e do aumento na probabilidade de chuva mais intensa neste período (Fig. 5.1.26).

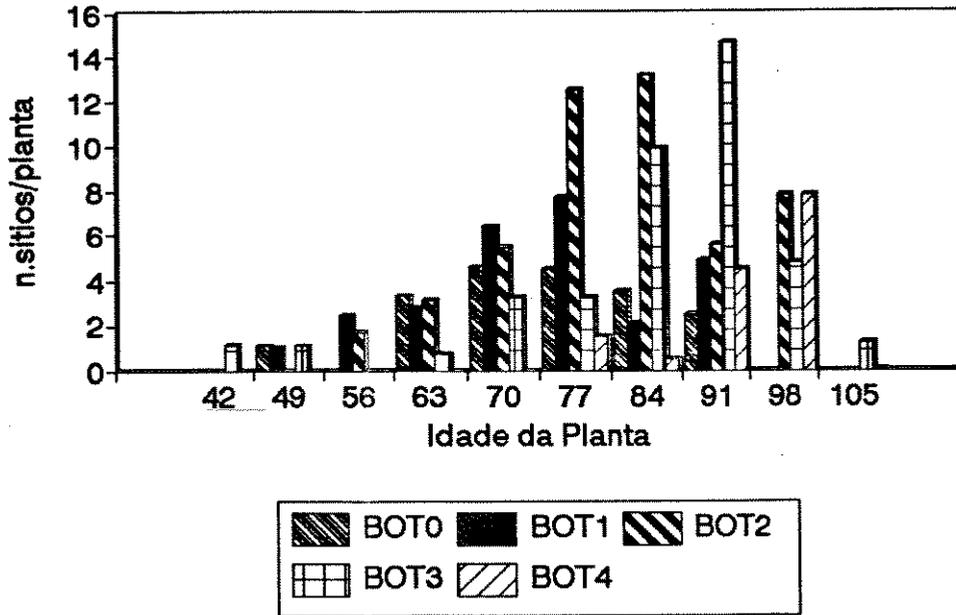


FIGURA 5.1.26: BOTÕES/PLANTA DIFERENCIADOS POR TAMANHOS.

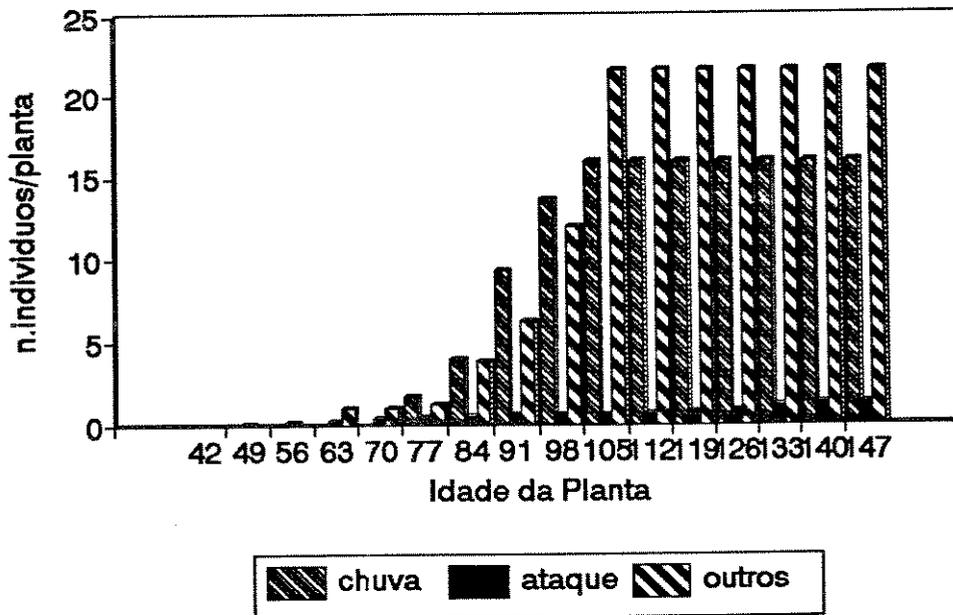


FIGURA 5.1.27: ESTRUTURAS/PLANTA NÃO SUCEDIDAS (CENÁRIO 5).

A entrada de grande número de adultos de bracon no início do período de formação de botões assegurou a população da praga em níveis não comprometedores.

A população adulta de bicudos permaneceu próxima de 0.023 adultos/planta com danos aceitáveis.

Embora tenham sido evidenciados danos em botões decorrentes da oviposição da praga, o parasitóide impediu a maior parte de formação de pupas do inseto.

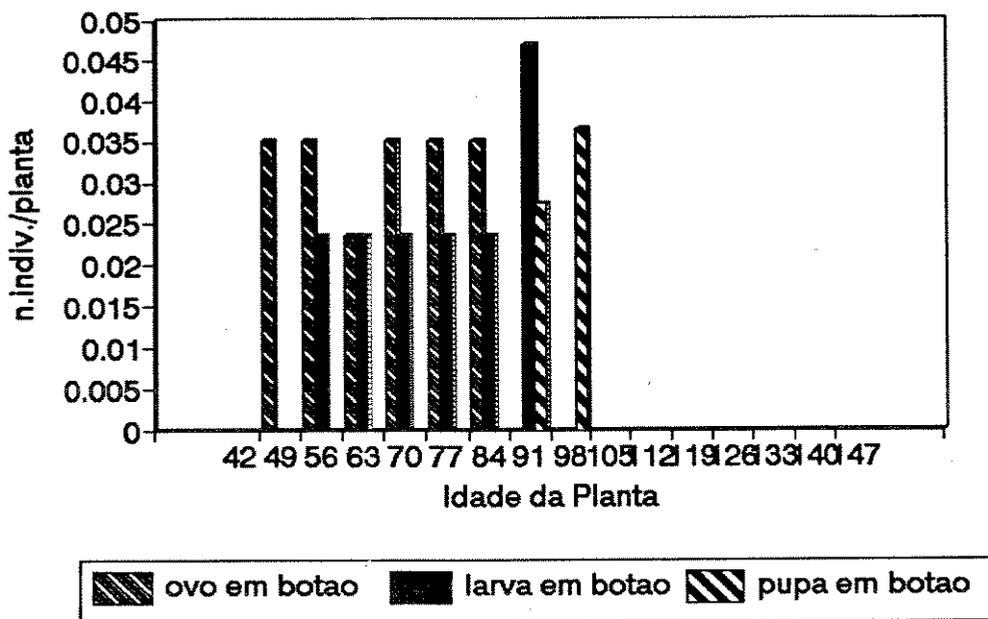


FIGURA 5.1.28: FASES IMATURAS DO BICUDO EM BOTÕES (CENÁRIO 5).

Durante o período de grande disponibilidade de botões florais o parasitismo variou de 0 a 78.26%, permanecendo na média de 47.89%.

A partir dos 99 dias de idade da planta, nota-se uma acentuada procura pela utilização de frutos verdes para oviposição (Fig.5.1.29). Entretanto, dos 42 até os 106 dias de idade da planta, notou-se a formação de um patamar na curva de parasitismo acumulado (Fig. 5.1.30), indicando a não ocorrência de parasitismo nesse período. Este fator contribuiu para que a população de bracon fosse também reduzida, permitindo um decréscimo no percentual de parasitismo verificado posteriormente. (Vide tabelas 5.10 e 5.11)

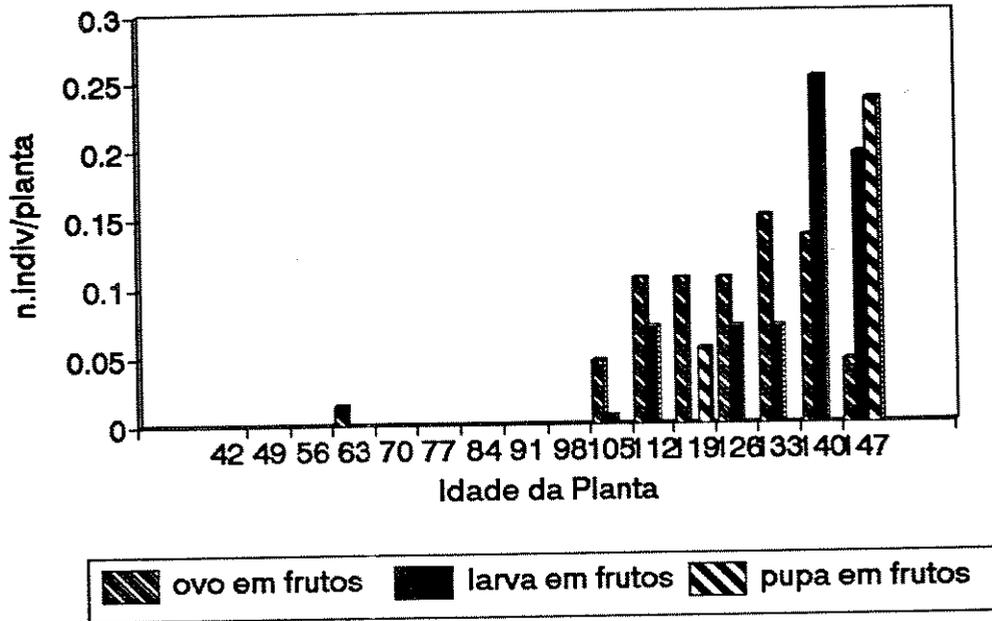


FIGURA 5.1.29: FASES IMATURAS EM FRUTOS (CENÁRIO 5).

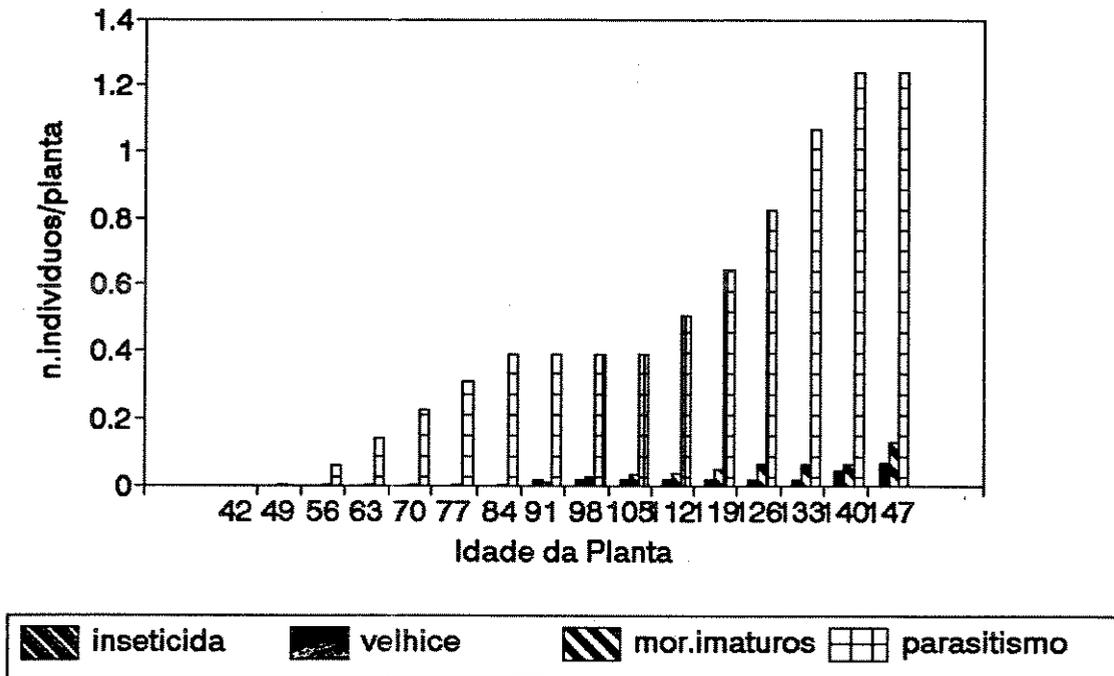


FIGURA 5.1.30: MORTALIDADE DE BICUDOS (CENÁRIO 5)

Durante este período, o menor e maior valores alcançados para o parasitismo foram 40.48% e 100%, respectivamente. A média verificada no período de 99 a 148 dias de idade da planta foi 43.98%.

O parasitismo médio verificado ao longo de todo o período simulado foi de 45.93%.

TABELA 5.10: O BICUDO NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 5.

IDADE	EM BOTAO:			EM FRUTO:			FPR	FEM	MAC
	OVO	LAR	PUP	OVO	LAR	PUP			
43	0	0	0	0	0	0	0.0104	0	0.0096
50	0.035	0	0	0	0	0	0	0.0098	0.0096
57	0.035	0.023	0	0	0	0	0	0.0098	0.0096
64	0.023	0.023	0	0.014	0	0	0	0.0098	0.0096
71	0.035	0.023	0	0	0	0	0.0037	0.0098	0.013
78	0.035	0.023	0	0	0	0	0	0.0098	0.013
85	0.035	0.023	0	0	0	0	0	0.0098	0.0034
92	0	0.047	0.027	0	0	0	0	0	0
99	0	0	0.037	0	0	0	0.011	0	0.010
106	0	0	0	0.045	0.0050	0	0.011	0.014	0.024
113	0	0	0	0.11	0.070	0	0	0.024	0.024
120	0	0	0	0.11	0	0.055	0	0.024	0.024
127	0	0	0	0.11	0.070	0	0.011	0.024	0.044
134	0	0	0	0.15	0.070	0	0	0.034	0.044
141	0	0	0	0.14	0.25	0	0	0.028	0.027
148	0	0	0	0.045	0.20	0.24	0	0.010	0.020

ONDE: IDADE= Idade da Planta; OVO= Qtd. média de ovos de bicudo/(botão ou fruto)/Planta; LAR= Qtd. média de larvas de bicudo/(Botão ou fruto)/Planta; PUP= Qtd. média de pupas de bicudo/(botão ou fruto)/planta; FPR= Qtd. média de fêmeas pré-ovipositoras de bicudo/(Botão ou Fruto)/Planta; FEM= Qtd. média de fêmeas ativas de bicudo/planta; MAC= Qtd. média de machos/planta;

Apesar do parasitismo de bracon ter sido eficiente para a formação da carga final, a simulação indica uma considerável população final do bicudo além de algumas fases imaturas ainda em desenvolvimento em frutos, o que não foi verificado na simulação realizada no cenário anterior.

TABELA 5.11: PARASITISMO DE BRACON EM LARVAS DO BICUDO (CENÁRIO 5)

IDADE	TOTAL_LAR	ACUM_PAR	%_PARASIT
43	0	0	0
50	0	0	0
57	0.082	0.059	71.43
64	0.104	0.14	77.78
71	0.102	0.22	78.26
78	0.12	0.31	77.78
85	0.103	0.39	77.78
92	0.046	0.39	0
99	0	0.39	0
106	0.0050	0.39	0
113	0.18	0.50	62.16
120	0.14	0.64	100
127	0.25	0.82	71.43
134	0.32	1.07	77.78
141	0.42	1.24	40.48
148	0.20	1.24	0
MÉDIA:			45.93%

ONDE: TOT_LAR= Qtd. total de larvas de bicudo disponíveis; ACUM_PAR= Qtd. acumulada de larvas de bicudo parasitadas por Bracon; %_PARASIT= Percentagem de larvas de bicudo parasitadas por Bracon.

Desse modo, através de comparações realizadas nos cenários 4 (Seção D1) e 5 (Seção D2), pode-se constatar que o elevado número de indivíduos de bracon lançados no cenário 5 foram tão eficientes quanto a quantidade, 1/3 menor, de indivíduos lançados no mesmo período, no cenário 4, acarretando contudo, um maior número de adultos da praga sobreviventes no final do ciclo. Esta população maior de bracon estaria, portanto, contribuindo para o aparecimento de uma maior população colonizadora da praga na safra seguinte.

D3. ENTRADA DE BRACON: 1 DE DEZEMBRO; POP_INICIAL: 0.05.

Este sexto cenário permitiu analisar a dinâmica populacional do bicudo frente a uma ação de controle por parasitismo em níveis populacionais iniciais próximos ao da população colonizadora da praga.

Os indivíduos foram lançados na mesma época estabelecida para os cenários anteriores e em condições culturais e de infestação da praga semelhantes.

Os resultados obtidos pela simulação são apresentados nas Tabelas 5.12, 5.13 e 5.14.

A simulação de 105 dias constatou, para este cenário, um potencial acumulado médio de 55.73 botões/planta. Deste, cerca de 92.59% (51.60 estruturas/planta, em média) das estruturas não tiveram sucesso.

Do valor total de estruturas perdidas, constataram-se 34.73% de perdas decorrentes de pluviosidades no período, 43.62% de quedas por outros fatores e 21.65% ocasionadas por ataques do bicudo.

A quantidade média de 4.13 capulhos/planta refletiu a falta de eficiência do controle da pequena população de Bracon lançada na lavoura, visto que os demais danos ocorridos encontraram-se em faixas que asseguravam a safra.

Os baixos índices de parasitismo alcançados no período de formação dos botões florais (maior valor: 43.22 larvas parasitadas, em média; menor valor: média de 23.64 larvas parasitadas) contribuiu para o aumento significativo da população da praga (Vide Fig.5.1.31)

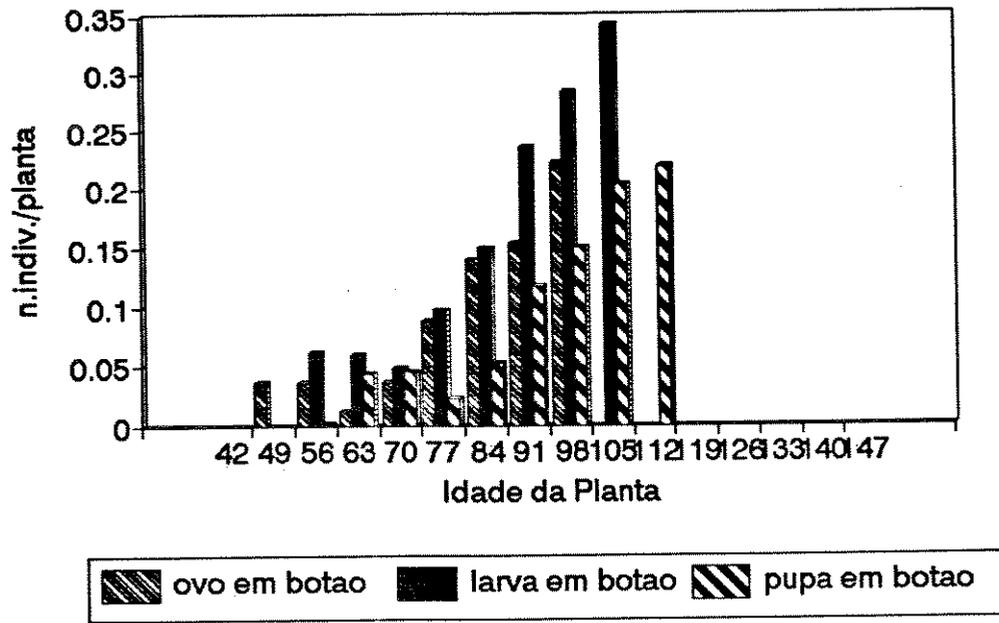


FIGURA 5.1.31: FASES IMATURAS DO BICUDO EM BOTÕES (CENÁRIO 6).

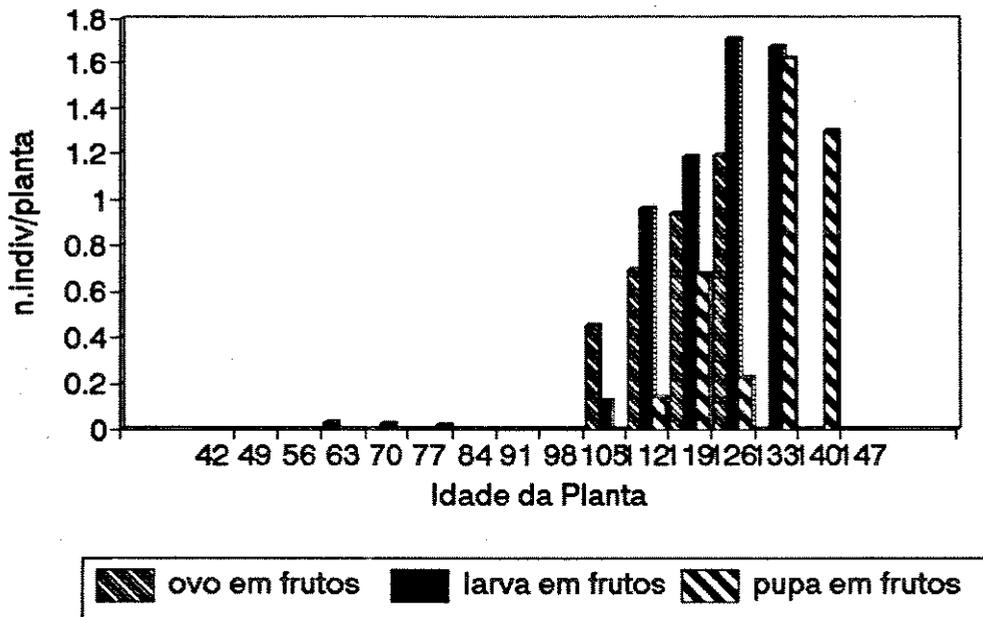


FIGURA 5.1.32: FASES IMATURAS DO BICUDO EM FRUTOS (CENÁRIO 6).

Também foi verificada a falta de controle por parasitismo no período de predominância de ataque a frutos. Nesta fase, o parasitismo alcançou o valor mínimo de 23.28% e o valor máximo de 37.79% larvas parasitadas, quando verificadas ocorrências de parasitismos.

Durante todo o período simulado, a média registrada foi de 20.83% larvas parasitadas.

Nesta simulação, observou-se a ocorrência de Limiar Econômico em botões, aos 98 dias de idade da planta. Aos 104 dias de idade da planta registrou-se a ocorrência do Limiar Econômico em frutos, quando verificava-se também o Nivel Econômico de Dano em botões. O Nivel Econômico de Dano em frutos foi registrado pouco depois de acionado o Limiar Econômico para estas estruturas(108 dias de idade da planta).

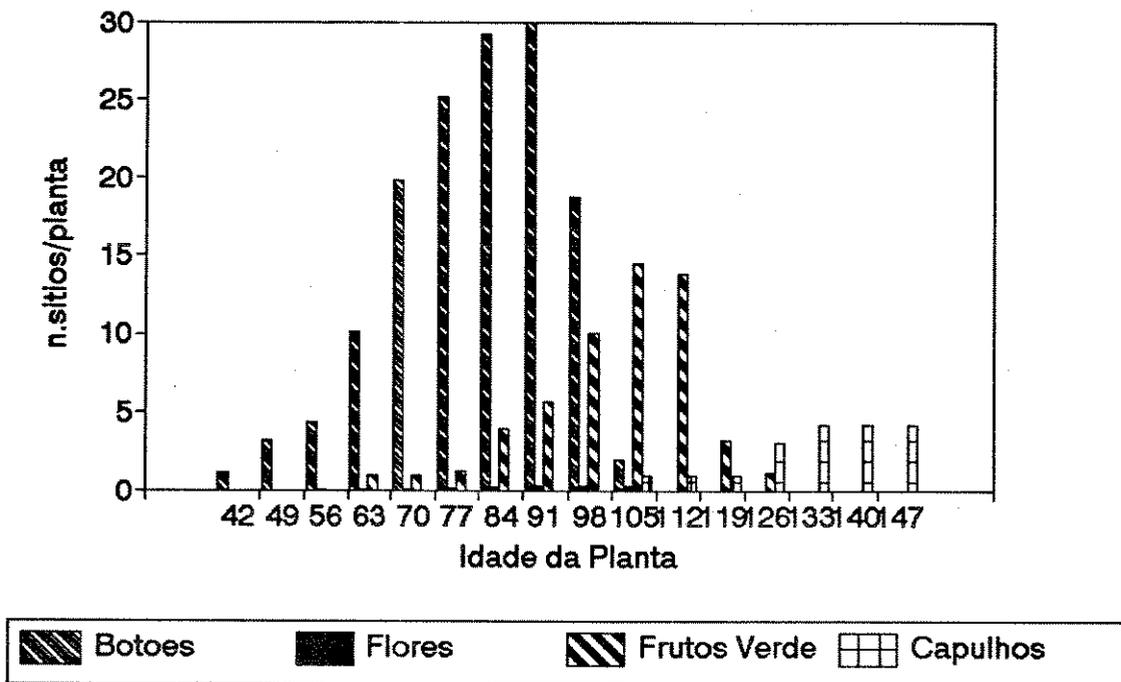


FIGURA 5.1.33: ESTRUTURAS FRUTÍFERAS/PLANTA (CENÁRIO 6).

TABELA 5.12: RESULTADOS OBTIDOS PARA A PLANTA NO CENÁRIO 6.

IDADE	BOT	FLOR	FRU	CAP	CHU	ATAQ	OUTROS	POT_SIM
43	1.15	0	0	0	0	0	0	1.16
50	3.21	0	0	0	0	0.03	0	3.31
57	4.33	0.061	0	0	1.46	0.13	0	6.04
64	10.11	0.059	0.97	0	1.46	0.23	0.99	13.90
71	19.84	0.048	0.97	0	1.46	0.35	0.99	23.79
78	25.13	0.097	1.18	0	14.11	0.56	1.21	32.43
85	29.13	0.15	3.90	0	6.76	0.77	3.92	44.78
92	29.98	0.24	5.67	0	9.58	1.086	5.69	52.49
99	18.74	0.28	10.07	0	14.44	1.54	10.38	55.98
106	1.92	0.34	14.51	0.98	17.43	2.40	16.94	55.62
113	0	0	13.80	0.98	17.92	4.02	17.84	55.73
120	0	0	3.16	0.98	17.92	10.18	22.51	55.73
127	0	0	1.10	3.03	17.92	11.17	22.51	55.73
134	0	0	0	4.13	17.92	11.17	22.51	55.73
141	0	0	0	4.13	17.92	11.17	22.51	55.73
148	0	0	0	4.13	17.92	11.17	22.51	55.73

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; BOT= Qtd. média de botões/planta; FLOR= Qtd. média de flores/planta; FRU= Qtd. média de frutos/planta; CAP= Qtd. média de capulhos/planta; CHU= Qtd. acumulada de estruturas danificadas /planta decorrente de pluviosidade; ATAQ= Qtd. média de estruturas/planta danificadas por ataque de bicudo; OUTROS= Qtd. média de estruturas/planta danificadas por outros motivos; POT_SIM= Potencial acumulado médio de botões/planta;

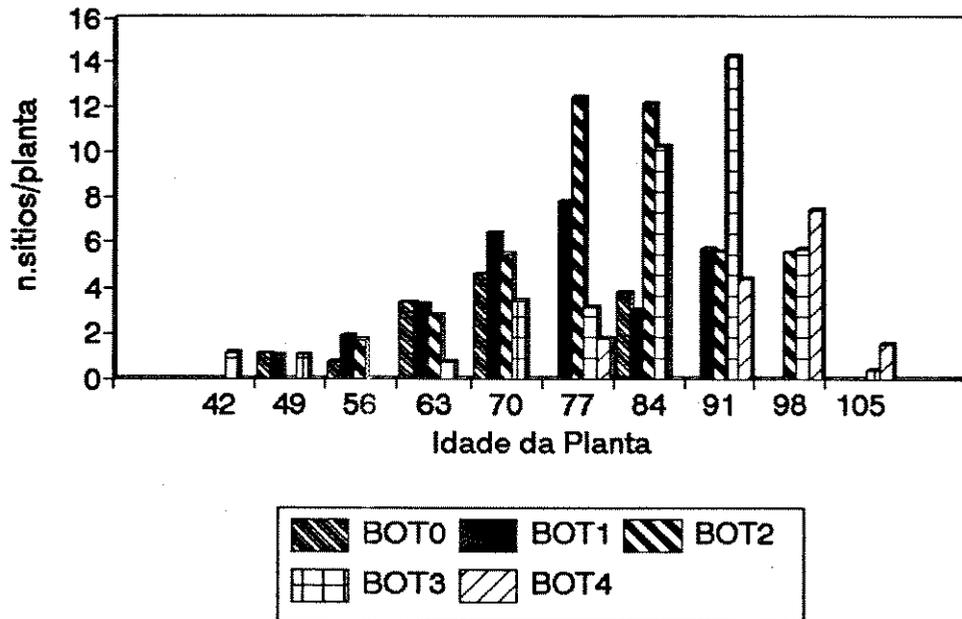


FIGURA 5.1.34: BOTÕES/PLANTA DIFERENCIADOS POR TAMANHO (CENÁRIO 6).

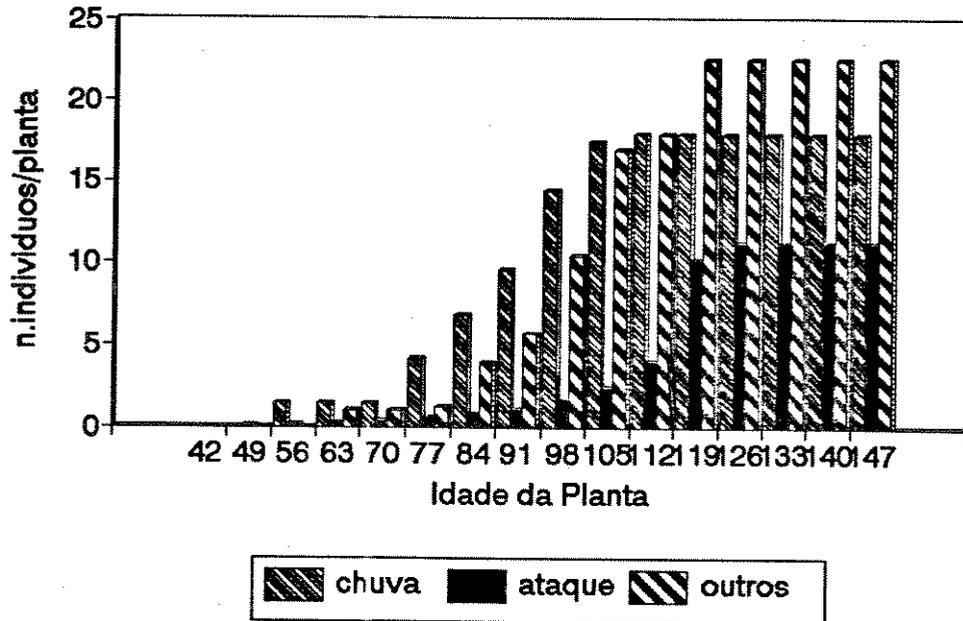


FIGURA 5.1.35: ESTRUTURAS FRUTÍFERAS NÃO SUCEDIDAS (CENÁRIO 6).

TABELA 3.13: O BICUDO NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 6.

IDADE	EM BOTAO:			EM FRUTO:			FPR	FEM	MAC
	OVO	LAR	PUP	OVO	LAR	PUP			
43	0	0	0	0	0	0	0.0104	0	0.0096
50	0.035	0	0	0	0	0	0	0.0098	0.0096
57	0.035	0.061	0.0011	0	0	0	0	0.0098	0.0096
64	0.012	0.058	0.043	0.028	0	0	0	0.0098	0.0096
71	0.036	0.048	0.045	0	0.025	0	0.015	0.010	0.024
78	0.087	0.098	0.023	0	0	0.019	0.016	0.026	0.041
85	0.14	0.15	0.052	0	0	0	0.011	0.042	0.047
92	0.15	0.24	0.12	0	0	0	0.014	0.046	0.063
99	0.22	0.28	0.15	0	0	0	0.041	0.065	0.11
106	0	0.34	0.20	0.45	0.12	0	0.050	0.11	0.164
113	0	0	0.22	0.69	0.96	0.14	0.065	0.16	0.22
120	0	0	0	0.94	1.19	0.68	0.082	0.23	0.31
127	0	0	0	1.19	1.70	0.22	0.11	0.28	0.55
134	0	0	0	0	1.67	1.62	0	0.37	0.61
141	0	0	0	0	0	1.30	0	0.34	1.16
148	0	0	0	0	0	0	0.14	0.28	1.60

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; OVO= Qtd. média de ovos de bicudo/(Botão ou Fruto)/Planta; LAR= Qtd. média de larvasde bicudo/(Botão ou Fruto)/Planta; PUP= Qtd. média de pupasde bicudo/(Botão ou Fruto)/Planta; FPR= Qtd. média de fêmeas pré-ovipositoras de bicudo/Planta; FEM= Qtd. média de fêmeas ativas de bicudo/Planta; MAC= Qtd. média de machos de bicudo/Planta;

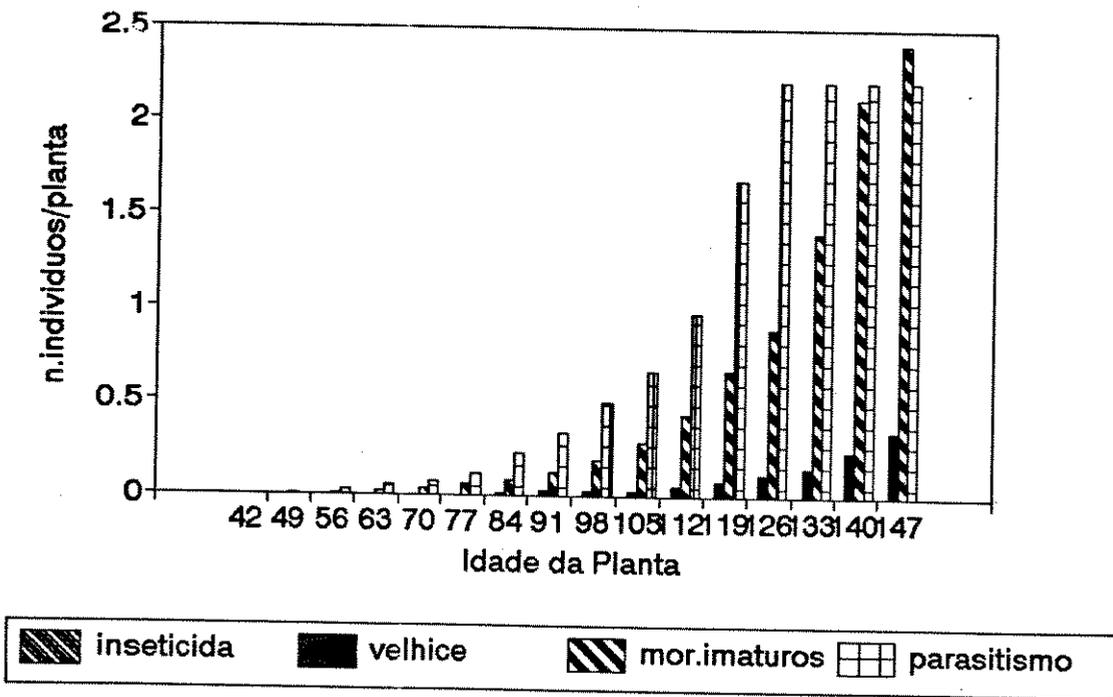


FIGURA 5.1.36: MORTALIDADE DE BICUDO NO CENÁRIO 6.

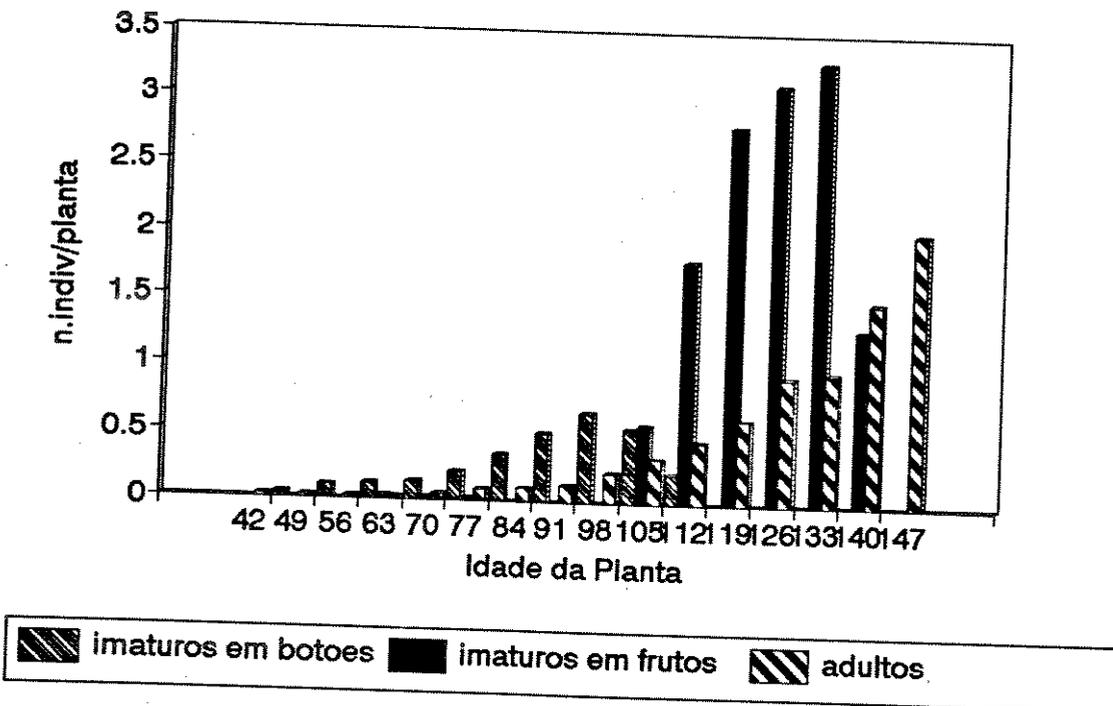


FIGURA 5.1.37: INDIVÍDUOS DO BICUDO NO CENÁRIO 6.

TABELA 5.14: PARASITISMO DE BRACON EM LARVAS DO BICUDO NO CENÁRIO 6.

IDADE	TOTAL_LAR	ACUM_PAR	%_PARASIT
43	0	0	0
50	0	0	0
57	0.081	0.020	24.64
64	0.089	0.050	33.86
71	0.093	0.072	23.64
78	0.13	0.11	28.18
85	0.25	0.22	43.22
92	0.34	0.33	32.35
99	0.46	0.50	37.05
106	0.61	0.66	26.40
113	1.28	0.97	24.25
120	1.90	1.69	37.79
127	2.23	2.21	23.28
134	1.67	2.21	0
141	0	2.21	0
148	0	2.21	0
MÉDIA:			20.83%

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; TOTAL_LAR= Qtd. total de larvas de bicudo; ACUM_PAR= Qtd . acumulada de larvas de bicudo parasitadas por Bracon; %_PARASIT= Percentagem de larvas de bicudo parasitadas.

Este cenário permitiu constatar que a presença de parasitóides em níveis populacionais baixos, verificada naturalmente na região, não assegura o controle eficiente da praga, mesmo na disponibilidade de larvas de tamanho apropriado para o parasitismo.

Os resultados obtidos por este cenário indicam a necessidade de realização de controle biológico aplicado de bracon, para que sejam alcançados níveis satisfatórios do controle de larvas do bicudo.

D4 ENTRADA DE BRACON: 21 DE DEZEMBRG; POP_INICIAL:1.56

O cenário 7 foi planejado com uma entrada maciça de parasitóide, retardada em relação à data de aplicação dos cenários anteriores. Esta situação foi proposta a fim de avaliar a eficiência de parasitismo em campos onde a sua ocorrência dá-se no início da formação de frutos.

As principais informações obtidas para a simulação de 105 dias são apresentadas nas tabelas 5.15, 5.16 e 5.17.

TABELA 5.15: RESULTADOS OBTIDOS PARA A PLANTA NO CENÁRIO 7.

IDADE	BOT	FLOR	FRU	CAP	CHU	ATAQ	OUTROS	POT_SIM
43	1.15	0	0	0	0	0	0	1.16
50	3.22	0	0	0	0	0.03	0	3.31
57	4.17	0.070	0	0	0.93	0.13	0	5.37
64	9.94	0.070	0.98	0	0.93	0.22	1.00	13.23
71	19.65	0.023	0.98	0	0.93	0.34	1.00	23.09
78	28.82	0.053	1.19	0	2.66	0.59	1.21	34.71
85	33.10	0.11	3.70	0	5.30	0.77	3.72	46.93
92	33.22	0.084	5.49	0	6.68	1.14	5.52	55.37
99	21.52	0.084	11.22	0	10.36	1.79	11.33	56.19
106	2.25	0.042	18.16	0.98	12.02	2.19	20.66	56.19
113	0	0	19.45	0.98	12.91	2.34	20.89	56.19
120	0	0	19.44	0.98	12.91	2.34	20.89	56.19
127	0	0	17.38	3.04	12.91	2.34	20.89	56.19
134	0	0	15.76	4.66	12.91	2.34	20.89	56.19
141	0	0	12.08	8.34	12.91	2.34	20.89	56.19
148	0	0	3.16	17.27	12.91	2.34	20.89	56.19

ONDE: IDADE= Idade da planta; BOT= Qtd. média de botões sadios/planta; FLOR= Qtd. média de flores sadias/planta; FRU= Qtd. média de frutos sadios/planta; CAP= Qtd. média de capulhos/planta; CHU= Qtd. média de estruturas danificadas/planta decorrente de pluviosidade; ATAQ= Qtd. média de estruturas/planta danificadas por ataque do bicudo; OUTROS= Qtd. média de estruturas danificadas/planta por outros motivos; POT_SIM= Qtd. potencial acumulada média de botões/planta.

A quantidade média potencial acumulado/planta observada para esta simulação foi de 56.56 botões/planta. Desse potencial, observou-se 63.90% de estruturas não sucedidas. Este percentual encontra-se dentro da faixa dos 60-70% que asseguram a safra.

As perdas de estruturas decorrentes do ataque da praga acumularam 6.50% do potencial de formação de botões. As demais perdas registradas, acumularam 35.71% para pluviosidade e 57.79% decorrente de outros fatores (Fig. 5.1.40).

A quantidade média total de estruturas frutíferas/planta pode ser vista na Fig.5.1.38. Ressalta-se, contudo, que a quantidade média de botões/planta, concentrou-se nos tipos menores, visto que a presença da praga não foi controlada no período de botões florais impedindo a concentração maior nos tipos 3 e 4 (Fig. 5.1.39).

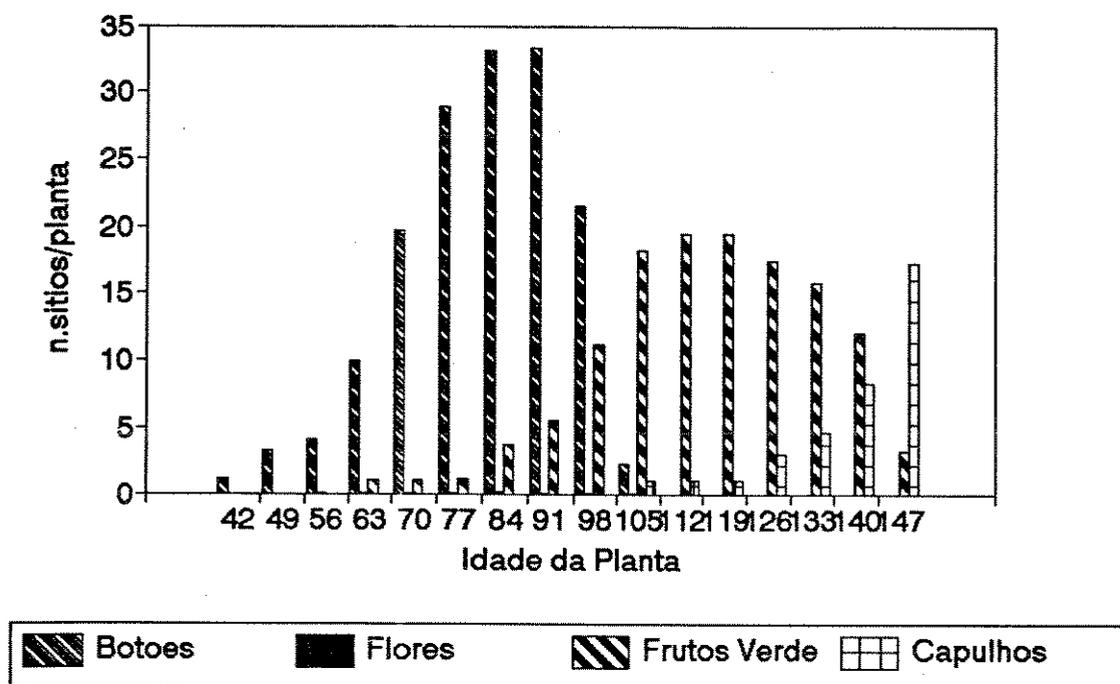


FIGURA 5.1.38: ESTRUTURAS FRUTÍFERAS/PLANTA DISPONÍVEIS (CENÁRIO 7).

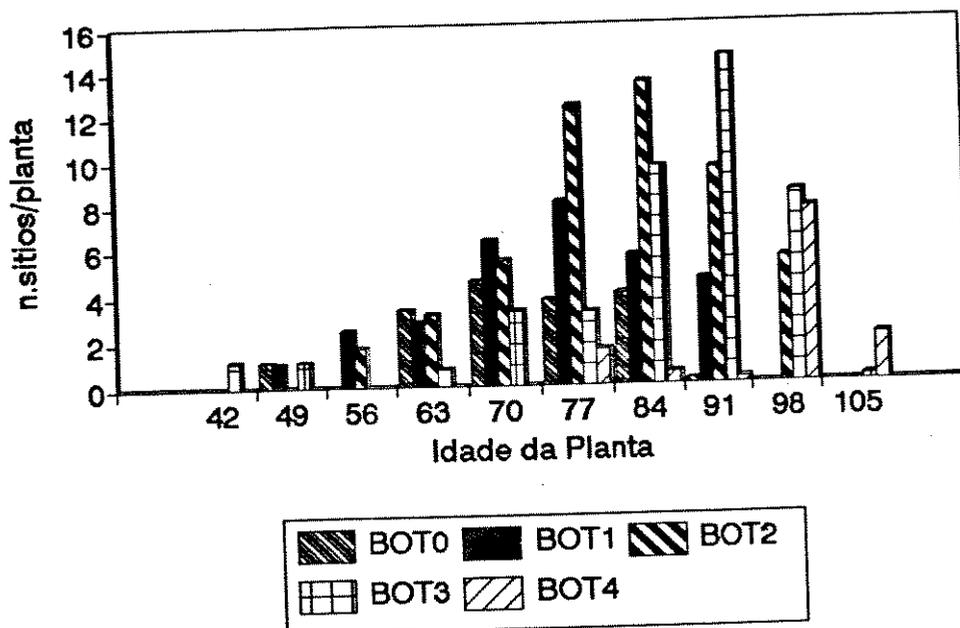


FIGURA 5.1.39: BOTÕES/PLANTA DIFERENCIADOS POR TAMANHOS (CENÁRIO 7).

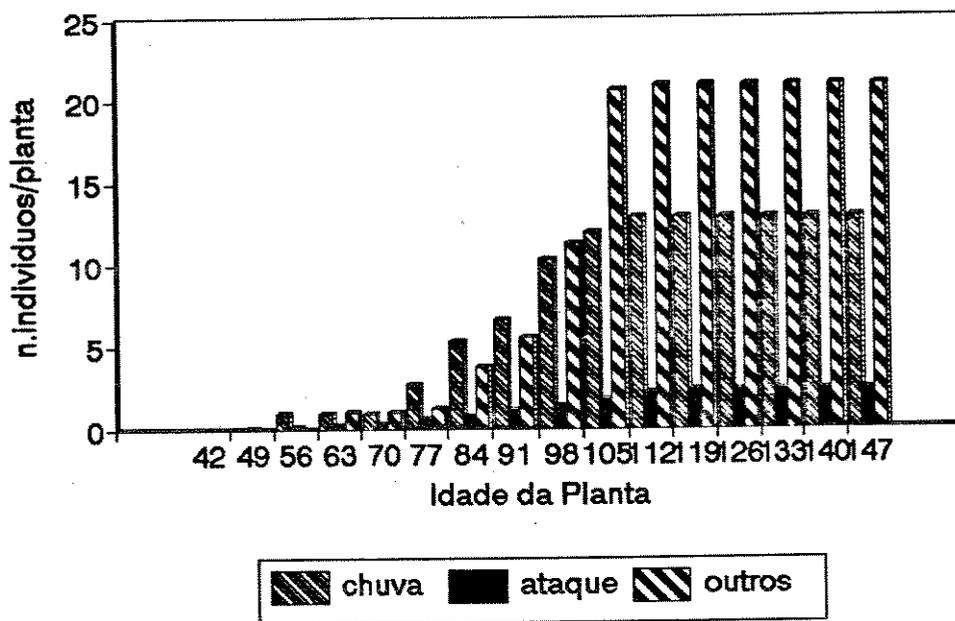


FIGURA 5.1.40: ESTRUTURAS/PLANTA NÃO SUCEDIDAS (CENÁRIO 7).

O número de indivíduos/planta do bicudo são apresentados na Tabela 5.16.

TABELA 5.16: O BICUDO NA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 7.

IDADE	EM BOTAO:			EM FRUTO:			FPR	FEM	MAC
	OVO	LAR	PUP	OVO	LAR	PUP			
43	0	0	0	0	0	0	0.0104	0	0.0096
50	0.023	0	0	0	0	0	0	0.0098	0.0096
57	0.035	0.070	0	0	0	0	0	0.0098	0.0096
64	0.012	0.070	0	0.028	0	0	0	0.0098	0.0096
71	0.035	0.023	0	0	0	0	0.022	0.0098	0.030
78	0.11	0.053	0	0	0	0	0.011	0.034	0.044
85	0.16	0.11	0	0	0	0	0	0.045	0.034
92	0.13	0.084	0	0	0	0	0	0.035	0.034
99	0.13	0.084	0	0	0	0	0	0.035	0.034
106	0	0.042	0.050	0.15	0.0050	0	0	0.035	0.034
113	0	0	0.095	0.10	0.095	0	0	0.017	0.0069
120	0	0	0.050	0.0050	0.050	0	0	0	0
127	0	0	0	0	0	0.043	0	0	0
134	0	0	0	0	0	0	0	0	0.016
141	0	0	0	0	0	0	0	0	0.016
148	0	0	0	0	0	0	0	0	0.016

ONDE:

IDADE= Idade da Planta; OVO= Qtd. média de ovos de bicudo/(Botão ou fruto)/planta; LAR= Qtd. média de larvas de bicudo/(Botão ou fruto)/planta; PUP= Qtd. média de pupas de bicudo/(Botão ou fruto)/planta; FPR= Qtd. média de fêmeas pré-ovipositoras de bicudo/planta; FEM= Qtd. média de fêmeas ativas de bicudo/planta; MAC= Qtd. média de machos de bicudo/planta;

A entrada do parasitóide deu-se por volta dos 65 dias de idade da planta, impedindo a formação de pupas e, portanto, o aumento da população adulta da praga.

O parasitismo médio observado ao longo do período simulado foi de 37.78%. O maior e o menor valores de parasitismo foram 81.75% e 64.21% respectivamente.

Embora a população de bracon presente no final do ciclo atingisse altos índices, a falta de larvas de bicudo no período de 127 a 148 dias de idade da planta estabilizaram a mortalidade por parasitismo a partir deste período.

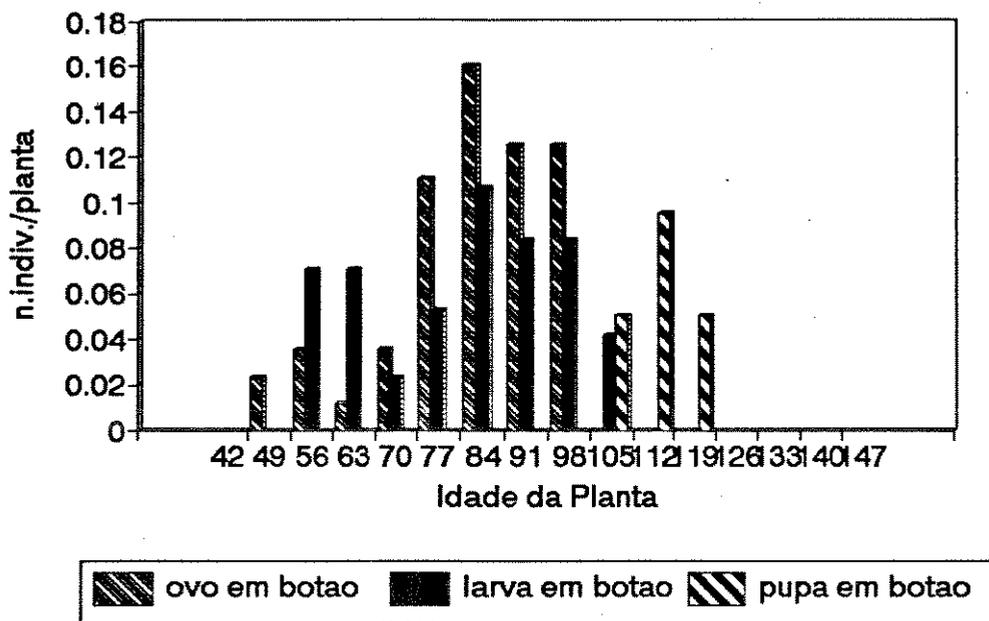


FIGURA 5.1.41: FASES IMATURAS DO BICUDO EM BOTÕES (CENÁRIO 7).

A contribuição indireta da influência do parasitóide na redução da população de novos adultos do bicudo pode ser comprovada observando as fases imaturas do inseto desenvolvendo-se em frutos no período de 71 a 106 dias de idade da planta.

As pupas de bicudo, que conseguiram se desenvolver no final do ciclo, contribuíram para a formação de uma pequena quantidade de adultos.

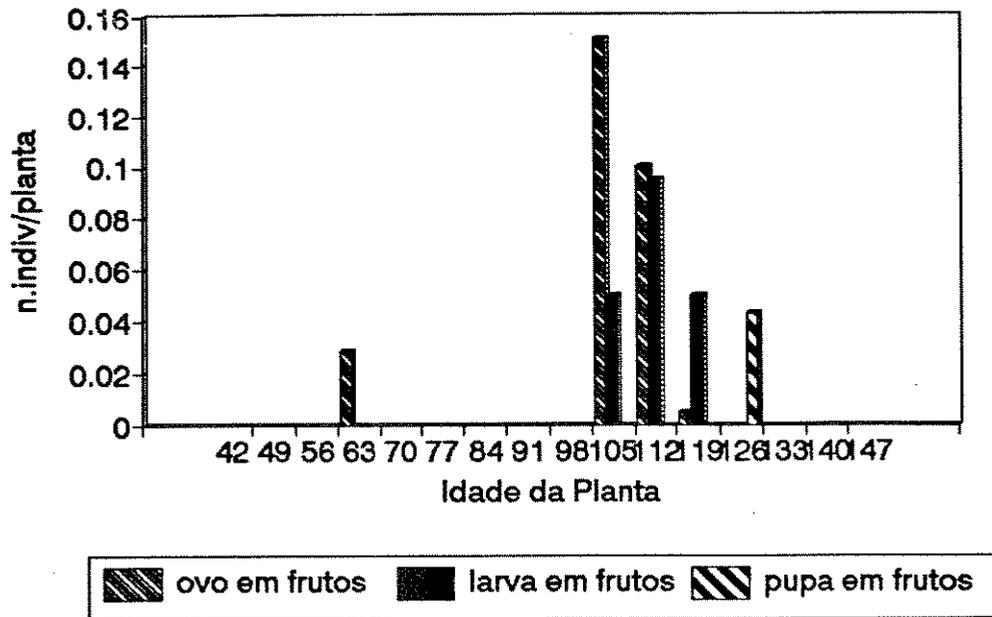


FIGURA 5.1.42: FASES IMATURAS EM FRUTOS (CENÁRIO 7).

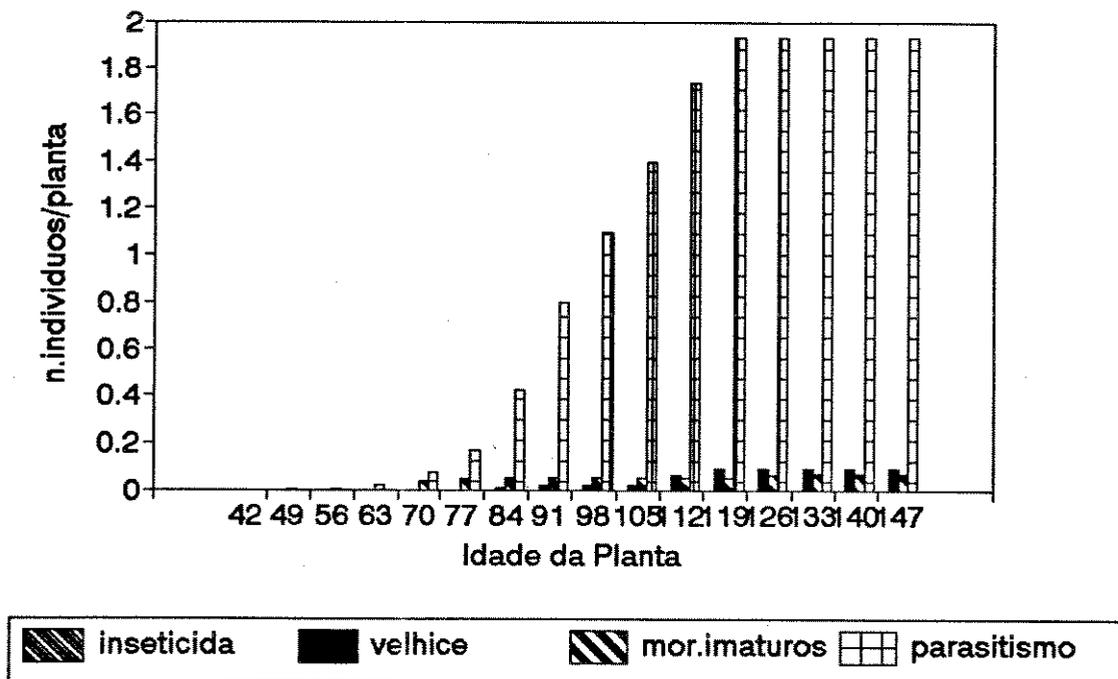


FIGURA 5.1.43: MORTALIDADE DE BICUDOS (CENÁRIO 7)

TABELA 5.17: PARASITISMO DE BRACON EM LARVAS DO BICUDO (CENÁRIO 7)

IDADE	TOTAL_LAR	ACUM_PAR	%_PARASIT
43	0	0	0
50	0	0	0
57	0.070	0	0
64	0.070	0	0
71	0.099	0.075	76.19
78	0.15	0.17	64.21
85	0.37	0.43	70.64
92	0.46	0.80	81.75
99	0.38	1.09	77.77
106	0.39	1.39	76.09
113	0.44	1.73	78.24
120	0.25	1.93	79.59
127	0	1.93	0
134	0	1.93	0
141	0	1.93	0
148	0	1.93	0
		MÉDIA:	37.78%

ONDE: TOTAL_LAR= Qtd. total de larvas de bicudo/planta; ACUM_PAR= Qtd. acumulada de larvas de bicudo parasitadas por bracon/planta; %_PARASIT= Percentagem de parasitismo de larvas de bicudo por Bracon;

Pelos resultados obtidos, pode-se intuir que o retardamento na entrada do parasitóide na lavoura deva ser compensado pela presença maciça da população a ser lançada. Caso contrário, o comprometimento da safra será inevitável. Além disso, verificou-se em outras simulações realizadas para o mesmo campo, que este retardamento não deve ultrapassar os 71 dias de idade da planta, entretanto, limitou-se a população máxima analisada a 1.56 indivíduos de bracon/planta, em média.

5.2. CONCLUSÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS PELA SIMULAÇÃO

Através das simulações realizadas, constatou-se que, a planta do algodoeiro atinge, em média, a formação de 19 a 24 capulhos, quando as perdas decorrentes de pluviosidade no período do ciclo da planta estão compreendidas na faixa de 12 a 19 estruturas/planta, observado-se o potencial de formação de botões próximo do estabelecido por Marur (1980) e o controle da praga a níveis aceitáveis. Estes valores corresponderam a uma faixa de 35% a 40% das estruturas não sucedidas.

Algumas simulações realizadas atrasando a data de plantio para intervalos posteriores aos orientados pelo (MIP) (20 de setembro a 20 de outubro), indicaram grande perda de estruturas frutíferas ocasionadas por precipitações pluviométricas torrenciais, comprometendo a safra mesmo na ausência do bicudo. Novamente as orientações do (MIP) mostraram-se quantitativamente pertinentes.

Percebeu-se também o sucesso no controle da população da praga, através da utilização do sistema especialista, seguindo orientações estabelecidas pelo (MIP) para a entrada de ação com baterias de inseticidas seletivos.

O desempenho do sistema especialista, verificando a ocorrência de precipitações pluviométricas antes de entrar com ações de controle, justifica a acreditar que a quebra de safra, quando o (MIP) está sendo utilizado na prática, seja decorrente de chuvas atípicas para a região ou da falta de uma ferramenta que monitore a presença da praga concomitantemente com informações de previsões meteorológicas em um espaço de tempo mais reduzido e uma conscientização maior dos agricultores da necessidade de utilização conjunta da proposta de (MIP).

O cenário 2, simulado sem qualquer tipo de controle da praga, fornece uma idéia dos danos ocasionados pela presença de uma população inicial relativamente pequena no início da formação dos primeiros botões.

Entretanto, os cenários propostos com atuações de controle químico ou biológico aplicado mostram forte tendência da possibilidade de convivência com a praga em níveis populacionais não comprometedores.

Nas simulações realizadas com a presença de *Bracon vulgaris* parasitando larvas do bicudo, verificaram-se índices de parasitismos compatíveis com a literatura.

Constatou-se que, mais importante que o lançamento de uma quantidade substancial do parasitóide na lavoura, é a identificação do período ideal para a ação deste controle biológico aplicado.

A simulação de cenários apresentando uma população inicial de bracon encontrada normalmente em lavouras da região, provou ser ineficiente para o controle da população de bicudos. Entretanto, simulações induzindo a entrada do parasitóide em níveis um pouco mais elevados mostraram-se satisfatórias no controle da praga, além de resultarem numa menor quantidade de indivíduos de bicudos no final do ciclo (possíveis colonizadores da próxima safra).

O adiamento da entrada do parasitóide até o aparecimento dos primeiros frutos, mostrou-se também insatisfatório no controle da praga, exceto nos casos onde a entrada da população de bracon foi elevada.

A simulação de entrada de Bracon mais atrasada que o cenário 7, já comentado, mostrou-se totalmente inviável, dada a falta de recursos para oviposição da praga e, conseqüentemente, a ausência de larvas para o parasitismo.

Desta forma, embora tenham sido encontrados na literatura consultada diversas informações quantitativas divergentes, os dados médios utilizados refletiram as tendências encontradas na região.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES GERAIS

O aparecimento do bicudo (*Anthonomus grandis* Boheman) nos algodoads brasileiros durante a safra de 1982/1983, foi responsável por enormes perdas e desestímulo de pequenos e médios agricultores ao plantio comercial dessa cultura, frente aos gastos relacionados com imensas e frequentes aplicações de inseticidas, orientadas na época como única alternativa na redução da população dessa praga.

A partir do conhecimento do comportamento desse inseto no ambiente brasileiro, possibilitou-se estabelecer um conjunto de métodos de controle, envolvendo técnicas culturais, mecânicas, químicas e biológicas que, levando em consideração os custos relacionados à cultura, estabeleceram critérios para a convivência com a praga em níveis aceitáveis ao plantio comercial do algodão: o Manejo Integrado de Pragas (MIP).

A partir de então, o monitoramento da população de bicudo é feito preservando-se a maior quantidade de seus inimigos naturais presentes na lavoura, através da utilização de inseticidas químicos seletivos somente quando os danos ocasionados na cultura indicarem a presença de níveis populacionais de adultos do bicudo comprometedores. Esses indicadores de controle são estabelecidos para cada região levando-se em consideração os aspectos sócio-econômicos e ecológicos a elas pertinentes: Limiar Econômico (LE) e Nível Econômico de Dano (NED).

Assim, a única forma disponível, até então, para o direcionamento de ações de controle imediato da população da praga encontra-se baseada nas percentagens estabelecidas heurísticamente para o (LE) e (NED), utilizadas em amostragens realizadas semanalmente na lavoura.

A necessidade de uma ferramenta que auxilie no monitoramento da população do bicudo no ambiente brasileiro, não só no acompanhamento de sua fase adulta, bem como das suas fases imaturas de desenvolvimento, não atingidas pelos inseticidas seletivos, mostra-se de grande auxílio no acompanhamento de todas as fases de vida do inseto. Deste modo,

permite-se quantificar estragos causados pela praga na cultura, além de analisar tendências frente a utilização de novas metodologias de controle da praga, como por exemplo, a realização de novas alternativas de controle biológico aplicado, outras percentagens para o (LE) e (NED), alternativas de espaçamentos entre aplicações consecutivas de inseticidas (utilizadas nas BATERIAS), etc. visando um controle mais eficiente e seguro ao meio ambiente.

Através de informações quali-quantitativas a respeito do bicudo, da planta do algodoeiro e de um parasitóide de larvas da praga (promissor a um controle biológico aplicado), tornou-se possível estimar dados quantitativos não disponíveis, bem como elaborar os modelos matemáticos representativos da dinâmica populacional do bicudo do algodoeiro na região de Campinas/SP, viabilizando sua simulação. Estes modelos matemáticos são do tipo dinâmico discreto compartimental.

A análise de frequência das precipitações pluviométricas e temperaturas registradas na região, através de dados diários fornecidos, permitiram a organização dos dados em formato mensal para os últimos dez anos, e posterior análise de distribuições de frequências mensais, tornando disponível a geração de variáveis abióticas físicas de forma aleatória.

Os fatores bióticos e abióticos físicos, descritos nos parágrafos precedentes foram integrados através da formulação do módulo SISTEMA PRINCIPAL a um SISTEMA ESPECIALISTA que, analisando as condições ambientais, entra com ações de controle químico seletivo quando não detectado o lançamento de agentes de controle biológico e verificado o (LE) ou (NED) em botões ou frutos verdes.

Este sistema especialista possui seu mecanismo de inferência baseado no método do encadeamento direto. Sua base de conhecimento contém as regras de utilização dos inseticidas seletivos disponíveis para o controle da praga. Se determinado um inseticida, o sistema especialista direciona-se a um arquivo de dosagens indicando as medidas de ações a serem tomadas relativas ao produto indicado. Posteriormente, as informações realimentam o sistema principal dando continuidade ao processo de simulação.

O programa computacional foi elaborado em linguagem C, disponível na estação de trabalho SUN.

A linguagem C foi escolhida devido a facilidade encontrada na elaboração do sistema especialista frente a algumas rotinas necessárias a comparações vetoriais, etc. já disponíveis em sua biblioteca. Entretanto, dada a grande flexibilidade que esta linguagem oferece a programadores mais experientes, foram encontradas dificuldades em sua utilização, principalmente com relação a

identificação de problemas ocasionados por compilação e compatibilidade de tipos de variáveis dentro de comandos comparativos.

A estrutura modular imposta ao Sistema Principal, facilita a alteração do programa fonte para aplicá-lo a outras variedades de algodão, bem como condições climáticas e orientações de (MIP) estabelecidas para outras regiões, caso existam informações disponíveis.

A simulação é realizada a partir da criação de cenários baseados em dados médios/planta, relativos a população da praga e da planta, fornecidos pelo usuário. A partir de então possibilita-se determinar a data de entrada do parasitóide, bem como a sua população média/planta, além da forma em que serão apresentados os dados abióticos físicos (aleatoriamente ou a média dos últimos dez anos) e o número de dias a ser simulado. Dessa forma, é possível monitorar tendências da população do bicudo a partir da situação encontrada no campo, permitindo um nível maior de detalhamento quanto a possíveis ações de controle a serem executadas.

Através da criação dos 7 cenários simulados, a saber:

- a) Um cenário relativo à lavoura sem bicudo;
- b) Um cenário relativo à lavoura com bicudo e sem o controle da praga;
- c) Um cenário relativo à lavoura com bicudo, sem bracon e com controle;
- d) Quatro cenários relativos à lavoura com bicudo, e diferentes datas de lançamento e níveis populacionais de bracons/planta;

já detalhados e discutidos no Capítulo 5, constatou-se por simulação que:

1- A região de Campinas/SP, na ausência do bicudo, apresenta condições climáticas satisfatórias ao plantio comercial do algodão;

2- Torna-se inviável o plantio comercial do algodão na presença do bicudo, sem que ações de controle sejam realizadas para manter a população da praga em níveis aceitáveis;

3- A eficiência das ações de controle, orientadas pelo Limiar Econômico e pelo Nível Econômico de Dano estabelecidos pelo Manejo Integrado de Pragas (MIP) da região, comprovaram a possibilidade de convivência com o bicudo e a garantia da safra;

4- A orientação do (MIP) de que o plantio comercial do algodão se dê entre 20/09 e 20/10 é totalmente pertinente, para que o período de formação de botões e floração (mais susceptíveis a quedas por precipitações pluviométricas) sejam atingidos nos meses de dezembro/janeiro, menos susceptíveis a chuvas torrenciais. Além disso, o intervalo estabelecido para a data de plantio, faz com que o período de maturação dos frutos ocorram nos meses mais quentes, permitindo maior acúmulo de graus-dia e, conseqüentemente, uma maturação mais rápida. Simulações realizadas com datas de plantio posteriores à estabelecida pelo (MIP), conservando-se as tendências climáticas dos meses subsequentes, indicaram a possibilidade de quebra de safra decorrente de precipitações pluviométricas ocasionando quedas de flores e botões pequenos, mesmo na presença da população de bicudos em níveis aceitáveis pelo (MIP);

5- A população do parasitóide *Bracon vulgaris*, ectoparasitóide de larvas do bicudo, nos níveis encontrados geralmente na lavoura é ineficiente a um controle biológico natural da praga. Entretanto, constatou-se que o lançamento de níveis populacionais maiores deste parasitóide, apresentaram resultados satisfatórios ao controle biológico aplicado;

6- A utilização do Sistema Especialista acoplado ao Sistema Principal mostrou-se pertinente à análise de eficiência de baterias de inseticidas seletivos utilizadas pelo (MIP), impedindo o lançamento de inseticida quando precipitações pluviométricas comprometedoras à aplicação foram detectadas;

7- Constatou-se a faixa de 60-70% de estruturas frutíferas perdidas durante o ciclo da planta do algodoeiro, como o total de perdas aceitáveis ao plantio comercial do algodão;

8- Para a maioria dos cenários, o Sistema Especialista orientou a aplicação de duas baterias de inseticidas como ideais para manter a praga em níveis aceitáveis, tendo sido acionado sempre que ocorrido o (LE) em botões ou o (LE) em frutos verdes. Não foram verificadas ocorrências de (NED) em nenhum desses cenários com controle, sempre que as faixas pluviométricas encontraram-se dentro das prováveis para a região de Campinas.

9- O adiamento da data de lançamento de populações de *Bracon vulgaris* até o aparecimento dos primeiros frutos, mostrou-se insatisfatório no controle da praga;

10- Mais importante que o lançamento de uma quantidade substancial do parasitóide é a identificação do período ideal para a ação deste controle biológico aplicado, ou seja, o monitoramento do número de larvas do bicudo de tamanhos apropriados ao parasitismo;

O resumo de alguns dos resultados alcançados pela simulação da praga na lavoura de algodão, constatou a importância do uso de técnicas de simulação como instrumento de monitoramento e estudo da dinâmica populacional do bicudo frente a alternativas de controle. Mais ainda, ressaltou que o acompanhamento dos dados encontrados nas lavouras orientadas pelo (MIP), possibilitaram a identificação de períodos críticos, prevendo datas prováveis de utilização de inseticidas seletivos de forma a orientar um planejamento de compra e utilização de recursos e mão de obra associados à sua aplicação, além da redução do número de aplicações, refletindo de forma economicamente significativa ao produtor.

Anos atípicos poderiam ser simulados mediante alterações nos arquivos de temperaturas diárias e pluviosidade, possibilitando a simulação mais próxima da realidade encontrada na lavoura e, conseqüentemente, na maior precisão dos resultados, minimizando erros.

O simulador viabiliza a recuperação da quantidade de indivíduos de bicudos/bracons/estruturas em cada um de seus estágios e/ou estádios de desenvolvimento, além de estruturas danificadas, possuindo "memória acumulativa" dos fatos ocorridos na lavoura até a data final da simulação.

Sugere-se que sejam pesquisados e divulgados uma quantidade maior de trabalhos apresentando informações quali-quantitativas criteriosas relacionadas à praga, planta hospedeira, diferentes inimigos naturais e formas de controle, no intuito de aprimorar os resultados obtidos por este trabalho, tornando-se esta ferramenta uma metodologia auxiliar ao Monitoramento do bicudo na região.

A necessidade de trabalhos detalhando o ciclo do *Bracon vulgaris* em termos de graus-dias necessários para troca de estágios de desenvolvimento, além da reavaliação dessas mesmas informações relacionadas com o aparecimento de tamanhos de botões diferenciados para as variedades mais utilizadas na região também seriam de grande valia.

Um estudo mais pormenorizado do ataque do bicudo aos botões e frutos disponíveis na planta, quantificando tamanhos, estruturas preferenciais e épocas de ataques a cada uma dessas estruturas, etc., também contribuiria de forma significativa para elevar o grau de confiabilidade dos resultados obtidos.

Propõe-se também a necessidade de maior cooperação institucional visando a obtenção de informações que permitam analisar o modelo da planta considerando um maior número de fatores e parâmetros (Curry *et al.*, 1980; Gutierrez *et al.*; 1984).

Dados econômicos viabilizariam analisar alternativas de (LE) e (NED) frente a novas políticas do governo para o produto, etc. , permitindo analisar uma relação de custo/benefício mais flexível para anos futuros.

Além dessas sugestões de trabalhos futuros, ressalta-se que a elaboração de modelos matemáticos representativos das outras pragas que atacam a planta do algodoeiro seria de grande valia, permitindo analisar percentuais de danos provocados por pragas diferenciadas presentes na mesma cultura.



BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, C.H; CROSS, W.H; MITCHELL, H.C. Biology of *Bracon mellitor*, a parasite of the boll weevil. *Journal of Economic Entomology*, n.62, p.889-896, 1969.
- AGROTÓXICOS: UMA ABORDAGEM CONJUNTURAL. entrevistados: FORSTER, R; SANTOS, P.F.dos; FLORES, M.X; TROPPEMAIR, H; GUIMARÃES, G.L. entrevistador: LOTAR JR, M.G. Jaguariúna,SP, fevereiro 1985.
- ARIS, R. *Mathematical modelling*. California: Fearon-Pitman, 1978. 191p.
- BAYPAY,A.C.; MUSTOE, L.R.;WALKER,D. *Matemática para engenharia*. São Paulo: Hermus, 1989. 4p.
- BARBOSA, S.;LUKEFAHR, M.J.;BRAGA SOBRINHO, R. (eds.). *O bicudo do algodoeiro*. Brasília, 1986. 314p. (EMBRAPA-DDT. Documentos, 4).
- BASSANEZI, R.C.; FERREIRA JR., L.C. *Equações diferenciais com aplicações*. São Paulo: HARBRA, 1988, 572p.
- BORLAND. *Quattro Pro- Quick Reference Guide*. Scotts Walley, CA, 1990. 15p. version 3.0.
- BRAGA SOBRINHO,R. *Chave de identificação de algumas larvas de insetos que ocorrem na cultura do algodoeiro*. Campina Grande, dezembro 1989. 4p. (EMBRAPA-CNPA. Comunicado Técnico, 33).
- BRAGA SOBRINHO, R; COUTINHO,J.L.B; SOARES,J.J; CHAGAS,M.C.M.das; PRADO,P.C.N. do; SILVA,P.H.S. da. *Defensivos sugeridos para o manejo integrado das pragas do algodoeiro*. Campina Grande, setembro 1989. 3p. (EMBRAPA-CNPA. Comunicado Técnico, 31).
- BROWN, L.G.;JONES, J.W.; HARRIS, F.A. A simulation study of insect pest management alternatives by integration of a *Heliothis spp* model and a cotton crop model. *American Society of Agricultural Engineers(ASAE)*, St. ASAE: Joseph,MI, paper n.76-5025, 1976.
- BROWN, L.G; MCCLENDON; JONES, J.W. Computer simulation of the interaction between the cotton crop and insect pests. *Transactions of the American Society of Agricultural Engeneers*, n.22, pg. 771-774, 1979.
- BROWN, L.G; JONES, J.W; HESKETH, J.D; HARTSOG, J.D; WHISLER, F.D; HARRIS, F.A. *COTCROP: Computer simulation of a cotton poduction*

- system. Users manual. Mississippi Agriculture and Forestry Experiment Station, Mississippi State, MS, 1982.
- BROWN,L.G.; MCCLENDON, R.W; JONES, J.W. Cotton insect management simulation model. In: RIDGWAY ,R.L; LLOYD,E.P;CROSS, W.H.(eds.). **Cotton-insect management with special reference to the bollweevil**. sl.: United Department of Agriculture Research Service (UDARS), 1983. 612p. (Agriculture Handbook, 589, chapter 17).
- BROWN,D.E; WHITE III, C.C. (eds.). **Operations research and artificial intelligence: the integration of problem-solving strategies**. Massachusetts: Kluwer, 1990. 510p.
- BUENO, M.C. Uma abordagem sobre inteligência artificial e simulação com uma aplicação na pecuária de corte nacional. **Produção**, Rio de Janeiro, v.1,n.2,p.51-59, 1991.
- CAMARGO,L.M.P.C. de A; BATISTA FILHO,A;CRUZ,B.P.B. Ocorrência do fungo *Beauveria sp.* patogênico ao bicudo do algodoeiro(*Anthonomus grandis* Boheman) na região de Campinas, Estado de São Paulo. **Biológico**, São Paulo, v.30,n.50,p.65-68, março 1984 (Comunicação Científica).
- CAMPANHOLA, C; MARTINS, D.F. **Observação de adultos de bicudo em hibernação**. Jaguariúna, fevereiro 1987. 3p. (EMBRAPA-CNPDA. Comunicado Técnico, 01).
- CARVALHO,S.L; FERANDES,W.D;PATEL,P.N; HABIB,M.E.M. Aspectos do desenvolvimento de *Bracon vulgaris* ASHMEAD (*Hymenoptera: Braconidae*) um ectoparasito de *Pectinophora gossypiella* (Saunders, 1843) (*Lepdoptera: Gelechiidae*). In: Congresso Brasileiro de Entomologia, 14, Piracicaba, 1993. **Resumos...** Piracicaba: SBE, 1993. p.277.
- CHRISTOFOLETTI, A; FEDERICI, H. **A terra campineira: análise do quadro natural**. Campinas: MOUSINHO, 1972. 100p.
- CONDOR REPORT. Operation research: the next decade. **Operations research**, 36, p.619-637, 1988.
- COTON ET DEVELOPMENT, n.2, Paris: SARL, juin 1992. 25p. (trimestrielle).
- COTON ET DEVELOPMENT, n.3, Paris: SARL, septembre 1992. 33p. (trimestrielle).
- COTTON ECONOMIC REVIEW. USA: Economic Services of National Cotton Council (ESNCC), v.24,n.3, 1993.
- COUTINHO,L.M. **Curso de ciências biológicas: Botânica**. 5.ed. São Paulo: Cultrix, 1974. 307p. v.2.

- CROOKES, J.G; VALENTINE, B. Simulation in micro-computers. *Journal of operational research society*, UK, n.33, pp.855-858, 1982.
- CRUZ, V.R. da. *Vamos conhecer e controlar o bicudo do algodão*. Campinas, CATI, 1987. 17p. (CATI. Instituição Prática, 233).
- CRUZ, V.R. *Algodão-MIP no Estado de São Paulo em região infestada pelo bicudo*. Campinas: SAA/CATI-DEXTRU-CTPV, 1991. p.14-15.
- CULIN,J; BROWN,S;ROGERS, J; SCARBOROUGH, D; SWIFT,A; COTTERILL, B; KOVACH, J. A simulation model examining boll weevil dispersal: historical and current situations (Forum). *Entomological Society of America*, v.19,n.2, p.195-208, 1990.
- CURRY, G.L; SHARPE,P.J.H; DEMICHELE, D.W. Towards management model of the cotton boll weevil ecosystems. *Journal of Environmental Management*, London:Academic Press, n1, p.187-223, 1980.
- DAXL, R; HERNANDEZ, J. *Anthonomus grandis* (var. interm.) Boh. biologia con relation a niveles económicos de daño permissible en algodón. In: *Seminário Técnico sobre el cultivo del algodoero*, 6, Managua, p.13-40, 1977.
- DEGRANDE, P.E.(ed.) *Bicudo do algodoero: Manejo Integrado*. Dourados, UFMS/EMBRAPA-UEPAE Dourados, 1991. 142p.
- DEWHURST, F.W; GWINNETT, E.A. Artificial intelligence and decision analysis. *Journal of operational research society*, UK, v.41, n.8, p.693-701, 1990.
- DOUKIDIS, G.L. An anthology on the homology of simulation with artificial intelligence. *Journal of Operational research society*, UK, v.38, n.8, p.701-712, 1987.
- DUNCAN,W.G. SIMCOT: a simulator of cotton growth and yield. In: *Workshop on tree growth dynamics and modeling*. Duke University, october 11-12, 1971, *Proceeding ...*, p. 115-118, 1971.
- EMBRAPA-CNPA. *Reunião nacional do algodão*. Campina Grande/PB: EMBRAPA-CNPA, 1990, 108p. (Resumos).
- EMBRAPA-CNPA. *Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisas do Algodão 1987-1989*. Campina Grande/PB: EMBRAPA-CNPA, 1991, 629p. (EMBRAPA-CNPA. Relatório Técnico, 1991).
- EMBRAPA-CNPA. *Informa: Informativo do Centro Nacional de Pesquisas do Algodão da EMBRAPA*. Campina Grande, março 1993, n.14, 8p. (mensal).
- O algodão*. São Paulo: Encyclopaedie Britannica do Brasil, p.394-397, 1987. (Enc. Mirador, v.2).

- ENGEL, A. Introdução à biomatemática determinística dos sistemas ecológicos. In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMACC), 7, Campinas: UNICAMP, 1984, 292p. (CNMACC, Apostila de mini-curso).
- FERRI, M.G; MENEZES, N.L; MONTEIRO, W.R. **Glossário ilustrado de botânica**. São Paulo: Nóbél, 1981, 198p.
- FORRESTER, J.W. **Industrial dynamic**. Cambridge: MIP, 1961.
- FREITAS, B.B. de. (ed.) **Informações econômicas**. São Paulo: IEA-DAP, v.23, n.1, janeiro 1993. 79p.
- GALE, W.A. (ed.) **Artificial Intelligence & Statistics**. New Jersey: Princeton, 1985. 418p.
- GELMINI, G.A. **Agrotóxicos: Legislação Básica**. Campinas: Fundação CARGIL, julho 1991. 398p. v.1.
- GLOBO RURAL. **Economia. Safra: calcule seu lucro**. março 1992, pg.4.
- GLOVER, F. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. In: **CAAI Report**, Boulder-CO: University of Colorado, 1985, p.85-88. (UNIVERSITY OF COLORADO. Graduate Scholl of Business).
- GORDON, G. **The application of GPSS V to discrete system simulation**. New Jersey: Pretence-Hall, 1975. 389p.
- GUIA RURAL, plantar. São Paulo, 1991, p.16-19. Plantar Algodão.
- GUIMARÃES, R.B. **Sistema interativo de modelagem e simulação de sistemas flexíveis de manufatura**. Dissertação (Mestrado em Automação, Campinas: UNICAMP-FEE-DCA), 1992.210p.
- GUTIERREZ, A.P; FALCON, L.A; LOEW, W; LEIPZIG, P.A; VAN DEN BOSCH, R. An analysis of cotton production in California: a model for Acala cotton and the effects od defoliators on its yield. **Environmental Entomology**, n.4, p.125-136. 1975.
- GUTIERREZ, A.P; LEIGH, T.F; WANG, Y; CAVE, R.D. An analysis of cotton production in California: *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) injury - an evaluation. **Canadian Entomologist**, n.109, p.1375-1386. 1977a.
- GUTIERREZ, A.P; BUTLER JR., G.D; WANG, Y; WESTPHAL, D. The interaction of pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae), cotton and weather: a detailed model. **Canadian Entomologist**. n.109, p. 1457-1468, 1977b.
- GUTIERREZ, G.S. **Biologia de A.g. Boheman, 1843 (Col: Curculionidae) e seu controle com Beauveria bassiana (Bals.) Vuill**. Dissertação (Doutorado em ciências (entomologia)), Piracicaba: USP-ESALQ, 1986. 107p.

- GUTIERREZ, A.P; SANTOS, W.J. dos; VILLACORTA, A;PIZZAMIGLIO, M.A; ELLIS, C.K; CARVALHO, L.H; STONE, N.D. Modelling the interaction of cotton and the cotton boll weevil. I. A comparison of growth and development of cotton varieties. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, n.28, p.371-397. 1991a.
- GUTIERREZ, A.P;SANTOS, W.J. dos; PIZZAMIGLIO,M.A;VILLACORTA, A.M; ELLIS, C.K; FERNANDES, C.A.P; TUTIDA, I. Modelling the interaction of cotton and the cotton boll weevil.II. Boll weevil (*Anthonomus grandis*) in Brazil. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, n.28, p.398-418. 1991b.
- HABERMAN, R. *Mathematical models: mechanical vibrations, populations dynamics and traffic flow.* __: Printice-Hall Inc., 1977. 402p.
- HABIB, M.E.M; FERNANDES, W.D. *Anthonomus grandis* Boheman (*Curculionidae*) já está na lavoura do Brasil. *Revista da Agricultura*, n.58, p.74, 1983.
- HABIB, M.E.M; FAVARO JR., A; ANDRADE, C.F.S. Avaliação da eficiência de três inseticidas químicos no combate do bicudo *Anthonomus grandis* Boheman. *Revista da Agricultura*, n.59,p.137-144, 1984a.
- HABIB, M.E.M; FERNANDES, W.D;FAVARO JR., A; ANDRADE, C.F.S. Eficiência do feromônio de agregação e inseticidas químicos no combate do bicudo *Anthonomus grandis* Boheman. *Revista da Agricultura*, n.59,p.239-251, 1984b.
- HARMON, P; KING, D. *Expert Systems: artificial intelligence in business.* __: John Willey & Sons, 1977. 283p.
- HARTSTACK, A.W; STERLING, W.L. Estimating fruit values within TEXCIM. In: Beltwide Production Research Conference, New Orleans-Lousiana, p.370-374, january 1988. (Proceeding ...).
- HARTSTACK, A.W; WITZ, J.A. Models for cotton insect pest management. In: RIDGWAY, R.L; LLOYD, E.P; CROSS, W.H. (eds.) *Cotton insect management with special reference to the boll weevil.* sl.: United Department of Agriculture Research Service, 1983. 612p. (Agriculture Handbook, 589, chapter 14).
- HAYES-ROTH, F. The knowledge-based expert systems: a tutorial. *IEEE Computer*, v.17, n.9, p.11-28, 1984.
- HEARN, A.B; CONSTABLE, G.A. Cotton. In: *The physiology of tropical food crops.*GOLDSWORTHY, P.R; FISHER, N.M. (eds). 1984. p. 495-527.(Chapter 14)

- INTERNATIONAL COTTON ADVISORY COMMITTEE(ICAC). Cotton: review of the world situation. Washington, 1993. 23p.
- INFORMAÇÕES ECONÔMICAS. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola (IEA), v.22, n.12, 1991. 160p. (mensal).
- JOHNSTON, D.M. Dynosis of wastewater treatment process. In: ASCE, Computer applications in wastewater resources, 1985. Proceedings... p.601-606.
- JOLY, A.B. Botânica: Introdução à taxonomia vegetal. São Paulo: Nacional, 1987. 777p.
- JONES, J.W. A simulation model of boll weevil population dynamics as influenced by the cotton crop status. PhD Dissertation, North Carolina State University, Raleigh, 254p. 1975.
- JONES, J.M; BROWEN, H.D;STINNER, R.E;BRADLEY, J.R; BACHELLER JR., J.S. Simulation of boll weevil population as influenced by weather, crop status and management practices. Transactions of the American Society of Agriculture Engineers (ASAE), St. Joseph, Michigan, v.20,n.1,p.121-131, 1977.
- JONES, J.W; BROWN, L.G; HESKETH, J.D. COTCROP: a computer model for cotton growth and yield. Chapter 10. In: Predicting photosynthesis for Ecosystems models. CRC Press, West Palm Beach. 1980.
- KERNIGHAN, B.W; RITCHIE,D.M. C: a linguagem de programação padrão ANSI. Rio de Janeiro: Campus, 1990. 289p.
- LAVELHA,A.C. Noções básicas de simulação de sistemas. Campinas: TELEBRÁS-CPqD, maio 1990. (TELEBRÁS-CPqD. Relatório Técnico DDS, n.7313/93/016).
- LEGASPI, B.A.C;STERLING,W.L;HARTSTACK JR.,A.W; DEAN,D.A. Testing the interactions of pest-predator-plant components of the TEXCIM model. Entomological Society of America, v.18,n.1,p.157-163, february 1989.
- LEVINE, R.I;DRANG, D.E; EDELSON, B. Inteligência artificial e sistemas especialistas. São Paulo: MacGraw-Hill, 1981. 264p.
- LEWIS, E.R. Network models in population biology. __: Springer-Verlang, 1977. 402p.
- LUCENA, C.J.P. Inteligência artificial e engenharia de software. São Paulo: Jorge Zahar, 1987. 305p.
- LUENBERGER, D.G. Introduction to dynamic systems: theory, models and applications. New York: John Wiley & Sons, 1979. 446p.

- MAEDA, K. An intelligent decision suport system or activated sludge wastewater treatment process. In: DRAKE, R.A.K. (ed.) **Instr. and control of water and wastewater treatment aand transport systems**. New york: Pergamon, 1985. p.629-632.
- MAGDOL, J. **Heuristic control of a wastewater treatment process**. Dissertation (Master in Science), University of Wisconsin-Madison, 1984.
- MAISEL, L. **Probabilidad y estadistica**. Bogotá: Fondo Educativo Interamericano, 1973. 278p.
- MARUR, C.J. Possibilidade da utilização de um esquema para a determinação de estágios de desenvolvimento em plantas do algodoeiro. In: Reunião Nacional do Algodão, 1, Londrina,PR, 4-8 agosto 1980. **Resumos...** Londrina:_, 1980. p.47.
- McKINION, J.M; JONES, J.W; HESKETH, J.D. Analysis of SIMCOT: photosynthesis and growth. In: **Proceedings, Beltwide Cotton Production Research Conference (National Cotton Conference, Memphis, TN)**, p.117-124, 1974.
- McKINION, J.M; BAKER,, D.N; HESKETH, J.D; JONES, J.W. SIMCOT II: A simulation of cotton growth and yield. In: **Computer simulation of a cotton production system**. Users manual. US Department of Agriculture, ARS-S-52, p.27-82, 1975.
- McKINION, J.M; LEMON, H.E. Expert systems for agriculture. **Computers and eletronics in agriculture**. Netherland, v.1,n1, p.31-40, october 1985.
- MOSER, J.G. Integration of artificial intelignce and simulation in a comprehensive decision suport system. **Simulation**, v.47, n.6, p.223-229, december 1986.
- MOTA, F.S. da. **Metereologia agrícola**. 4ed. São Paulo: Nobel, 1979. 376p.
- MURTHY, D.N.P; PAGE, N.W; RODIN, E.Y. **Mathematical modelling: a tool for problem solving in engineering, physical, biological and social sciences**. 1st ed. Oxford : Pergamon Press, 1990. 339p.
- MYLOPULOS, J; LEVESQUE,J.H. An overview of knoledge representation. In: BRODIE,M.Z; MYLOPULOS, J;SCHMIDT,J. (eds.) **On conceptual modelling**. New York: Springer-Verlang, 1984. p.3-17.
- NAKANO, O. Bicudo: a praga mais importante do algodão. **Agroquímica**, São Paulo, n.21, p.10-14, 1983.
- NAYLOR, T.H; BALINTFY, J.L; BURDICK, D.S; CHU, K. **Técnicas de simulação de computadores**. Petrópolis: Vozes, 1971. 402p.
- NILSON, N. **Principles of artificial intelligence**. Berlim, 1980.

- O'KEEFE, R.M. Simulation and expert systems- a taxonomy and some exemples. *Simulation*, v.46, n.1, p.10-16, january 1986.
- O'KEEFE, R.M; ROACH, J.W. Artificial intelligence approach to simulation. *Journal of operational research society*, UK, v.38.n.8, p.713-722, october 1987.
- PASSOS, S.M.G. Algodão. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola (ICEA), 1977. 424p.
- PAVE, A.(ed.) *Les cahier D'EDORA*. Les Chesnay Cedex: Institute National de Recherche en Informatique et en Automatique(INRIA), 1988. 240p. (INRIA-EDORA. Rapports de recherche, n.866, juillet).
- PERIN FILHO, C. MS-613 - Simulação de Sistemas. Campinas:_, 1983. 70p. (UNICAMP-IMECC, Apostila Curso MS-613).
- PESSOA, M.C.P.Y; MEYER, J.F.C.A.; FERNANDES, J.F.R. Modelagem matemática e simulação numérica aplicada ao manejo integrado do bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boheman). In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMAC), 15, São Carlos,SP, 1992. 152p. Resumos... Rio de Janeiro: SBMACC, 1992. p.23.
- PESSOA, M.C.P.Y; MEYER, J.F.C.A; FERNANDES, J.F.R; PIEROZZI JR., I; HABIB, M.E.M. Modelagem matemática e siulação numérica aplicadas ao manejo integrado do bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boheman). In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional (CNMAC), 15, São Paulo, Sp, 1992. 12p. *Integra dos trabalhos apresentados...*Campinas: UNICAMP, 1992.
- PESSOA, M.C.P.Y; MEYER, J.F.C.A; FERNANDES, J.F.R; PIEROZZI JR., I; HABIB, M.E.M. A integração bicudo-algodoeiro: modelagem matemática e manejo integrado. In: Congresso Brasileiro de Entomologia(CBE), 14, Piracicaba, SP, 1993. Resumos... Piracicaba: SBE, 1993. p.34
- PESSOA, M.C.P.Y; MEYER, J.F.C.A; FERNANDES, J.F.R; PIEROZZI JR., I; HABIB, M.E.M. Sistema especialista para identificação de fatores de mortalidade natural dos estágios imaturos do bicudo do algodoeiro na região de Campinas/SP. In: Congresso Brasileiro de Entomologia (CBE), 14, Piracicaba, SP, 1993. Resumos... Piracicaba: SBE, 1993.
- PESSOA, M.C.P.Y; MEYER, J.F.C.A; FERNANDES, J.F.R; PIEROZZI JR., I; HABIB, M.E.M. Utilização de um sistema especialista em simulação numérica: uma ferramenta auxiliar no acompanhamento da dinâmica populacional do bicudo do algodoeiro. In: Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais para Engenharia (CILAMCE), 14, São Paulo, 1993. Resumos... São Paulo: IPT, 1993.

- PESSOA, M.C.P.Y; MEYER, J.F.C.A; FERNANDES, J.F.R; PIEROZZI JR., I; HABIB, M.E.M. Mathematical modelling and numerical simulation applied to the crop-pest-parasitoid interaction. In: Congreso Internacional de Biomatemática, 6, Costa Rica: Universidad de Costa Rica, 1993. Resumos... Costa Rica: UCR, 1993.
- PIEROZZI JR, I. Ecologia aplicada de *Anthonomus grandis grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae), na região de Campinas, SP. Dissertação (mestrado em ciência (ecologia)), Campinas: UNICAMP-IB, 1985. 155p.
- PIEROZZI JR, I. Análise e aplicabilidade do complexo ecológico de *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae), na região de Campinas, SP. Dissertação (doutorado em ciências (ecologia)), Campinas: UNICAMP-IB, 1989. 191p. (Anexos).
- PIEROZZI Jr., I; HABIB, M.E.M. Identificação dos fatores de mortalidade natural dos estágios imaturos de *Anthonomus grandis* BOH. (Coleoptera: Curculionidae), na região de Campinas/SP. An. Soc. Entomol., Brasil, v.22, n.2, 1993.
- RAMALHO, F.S; SILVA, J.R.B. Período de emergência e mortalidade natural do bicudo-do-algodoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.28, n.11,p.1221-1231, nov. 1993.
- RICH, E. Artificial intelligence. New york: Mc Graw-Hill, 1983.
- SCHATTAN, S. Cooperação entre economistas agrícolas e estatísticos na produção de estatísticas agrícolas no Estado de São Paulo. In: Congresso Internacional de Economistas Agrícolas CIEA), 15, São Paulo, 1973. 16p. (minicursos).
- SCHILDT, H. C: The complete reference. Berkley: Osborne McGraw-Hill, 1987. 773p.
- SCHILDT, H. TURBO C: guia do usuário. São Paulo: McGraw-Hill, 1988. 414p.
- SCHILDT, H. Inteligência artificial utilizando linguagem C. São Paulo: McGraw-Hill, 1989. 349p.
- SHANNON, R.E. Systems symulation- the art and science. Englewood Clifs: Pretence-Hall, 1975.
- SHANNON, R.E; MAYER, R; ADELSBERGER, H.H. Expert Systems and Simulation. Simulation, v.44, n.6, p.275-284, june 1985.
- SILVA, N.M. da. Nutrição e adubação do algodoeiro. Informações agronômicas, n.43, Piracicaba-POTAFAS: ABPPF, setembro 1988. p.1-6.
- SILVEIRA NETO, S; NAKANO, O; BARBIN, D; NOVA, N.A.V. Manual de ecologia dos insetos. São Paulo: Ceres, 1976. 416p.

- SIMON, H.A. Two heads are better than one: the collaboration between artificial intelligence and operational research. *Interface*, 17, p.8-15, 1987.
- SOARES, J.J; LARA, F.M. Resistência do algodão herbáceo a *Anthonomus grandis* Boheman, 1843 (*Coleoptera: Curculionidae*) e interação com inseticida. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.28,n.10, p.1129-1135, out.1993.
- SOARES, J.J; YAMAMOTO, P.T. Comportamento de oviposição de *A.g. Boheman, 1843 (Coleoptera: Curculionidae)* em diferentes níveis de infestação natural. In: Congresso Brasileiro de Entomologia(CBE), 14, Piracicaba, 1993. Resumos... Piracicaba: SBE, 1993. p.87.
- SPIEGEL, M.R. Estatística. 2ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1985. 454p. (Coleção Schawn).
- STAPLETON, H.N. Crop production in system simulation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, n.13, p.110-113, 1970.
- STAPLETON, H.N; BUXTON, F.L; WATSON, F.L; NOLTING, D.J; BAKER, D.N. Cotton: a computer simulation of cotton growth. *Agricultural Experiment Station Technical Bulletin*, University of Arizona, n.206, 1973.
- STEWART, S.D; STERLING, W.L. Susceptibility of cotton fruiting forms to insects, boll rot and physical stress. *Entomological Society of America*, v.82, n.2, p.593-598, abril 1989.
- STIMAC, J.L.; O'NEIL, R.J. Integrating influences of natural enemies into models of crop/pest systems. In: HOY, M.A; HERZOG, D.C. (eds.) *Biological control in agricultural IPM systems*. ___: Academic Press, 1985. p.323-344.
- STONE, N.D; RUMMEL, D.R; CARROLL, S; MAKELA, M.E; FRISBIE, R.E. Simulation of boll weevil (*Coleoptera: Curculionidae*) spring emergence and overwintering survival in Texas rolling plains. *Entomological Society of America*, v.19, n.1, february 1990.
- TONG, M.R; BECK, B.M; LATTEN, A. Fuzzy control of the activated sludge wastewater treatment process. *Automática*, n.16, p.695-701, 1980.
- TUBELIS, A; NASCIMENTO, F.J.L. do. *Metereologia descritiva - Fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Nóbél, 1980. 374p.
- VILLACORTA, A; GUTIERREZ, A.P; SANTOS, W.J.dos; PIZZAMIGLIO, M.A. Modelo de simulação do algodoeiro variedade IAC-17, básico para acoplar o modelo do bicudo (*Anthonomus grandis* Boheman). In: Congresso Brasileiro de Entomologia, 9, Londrina-IAPAR, setembro 1984. Resumos... Londrina: SBE, 1984. p.298.

- VILLACORTA, A; GUTIERREZ, A.P; SANTOS, W.J. dos; PIZZAMIGLIO, M.A. Análise do crescimento e desenvolvimento do algodoeiro no Paraná: um modelo de simulação para a variedade IAC-17. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.20, n.1, p.115-128, jan. 1985.
- VITASOVICH, Z; ANDREWS, J.F. A rule-based control system for activated sludge process. In: BECK, M.B. (ed.) *Systems analysis in water quality management*. New York, p.423-432, 1987.
- WANG, Y; GUTIERREZ, A.P; OSTER, G; DAXL, R. A population model for plant growth and development: coupling cotton-herbivore interaction. *Canadian Entomology*, 109,p.1359-1374, 1977.
- WATERMAN, D.A. *A guide to expert systems*. Reading: Addison-Wesley, 1986.
- WATT, K.E.F. Mathematical models for use in insect pest control. *Canadian Entomology*, 93, 1961.
- WILSON, A.G; HUGHES, R.D; GILBERT, N. The response of cotton to pest attack. *Bulletin of Entomological Research*, n.61, p.405-414, 1972.
- ZADEH, L.A. Fuzzy sets. *Inf. & control*, 8, p.338-353, 1965.
- ZADEH, L.A. Outline of a new approach to analysis of complex systems and decision process. *IEEE. Transaction on Systems: Man and Cybernet*, 3,p.28-44, 1973.
- ZADEH, L.A. Commonsense knowledge representation based on fuzzy logic. *IEEE Transactions on Computers*, 5, p.61-65, oct. 1983.

DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS, TIPOS, ROTINAS E ARQUIVOS DO SIMULADOR

A) VARIÁVEIS/ROTINAS:

ACIONA_BRA: variável inicializada com "nao"; indica se a população de bracon já foi acionada, isto é, se já esta presente na lavoura;

ACUM_CAI_ALG: é a quantidade de algodão caído (acumulado);

AD_ESTR: estimativa de adultos do bicudo a partir dos estragos, verificados nas estruturas, decorrentes de alimentação ($AD_ESTR = TOT_AL/3.2$);

ADU_BRA: informa a quantidade de adultos de bracon a ser lançada na lavoura na data pré estabelecida;

ALG_QTD[tipo_alg][tsimul][lugar_alg]: matriz cujos elementos são as quantidades de estruturas de algodão de tipo_alg existentes no dia de simulação tsimul e armazenadas no lugar_alg;

ALG_GD[tipo_alg][tsimul][lugar_alg]: matriz cujos elementos são as quantidades de graus-dias acumulados pelos elementos em alg_qtd[tipo_alg][tsimul][lugar_alg]; OBS: os valores de graus-dias acumulados ocupam a mesma posição que os elementos, mas em matrizes distintas;

ALI*: ataque de bicudo na estrutura do tipo * para alimentação;

ALTERA_BASE(): esta rotina permite ao usuário fornecer uma nova base de conhecimentos;

AJUSTA_POTENCIAL(w): esta função calcula o número de dias desde o aparecimento do primeiro botão floral, correspondente ao potencial de botões verificados na lavoura (w); retorna AUX_AJUST;

ATAQ_ALG[tipo_alg][tsimul][lugar_ataq]: matriz cujos elementos são as quantidades de estruturas de algodão de tipo_alg atacadas no dia de simulação tsimul e armazenadas no lugar_ataq;

ATAQ_BIC: quantidade total de estruturas atacadas pelo bicudo;

ATAQ_DIA[tipo_alg][tsimul][lugar_ataq]: matriz cujos elementos são as quantidades de dias acumulados pelos elementos em

ataq_alg[tipo_alg][tsimul][lugar_ataq]; OBS:os valores de dias acumulados ocupam a mesma posição que os elementos, mas em matrizes distintas;

ATRIBUTO: é uma das estruturas do sistema especialista; armazena considerações quanto aos atributos do sistema especialista em seus dois membros:

atribu[] = vetor com no máximo 20 caracteres que armazena o nome do atributo;

* proximo = apontador do próximo atributo;

AT: é uma estrutura de tipo atributo;

ATUAL_ALG(lf): esta rotina verifica se a quantidade de graus-dias acumuladas até o dia tsimul ultrapassa a quantidade necessária para que haja troca de compartimentos (isto é, mudança de tipo); O valor passado por parâmetro (lf) informa a quantidade de graus dias necessárias para que ocorra a troca de compartimentos;

ATUAL_BIC(lf): esta rotina verifica se a quantidade de graus-dias acumulados até o momento atinge a quantidade de graus-dias acumulados exigidos para que haja troca de compartimentos;

ATUAL_BRA(lf): verifica a troca de compartimentos (troca_bra=1) ou não, nas matrizes BRA_QTD[][][] e BRA_DIA[][][] de acordo com a necessidade de dias acumulados (lf) exigidos para a troca de compartimentos;

ATUALIZA_CONTEUDO_ALG(): esta rotina chama a rotina ATUAL_ALG(lf) de acordo com o tipo_alg; depois de passado o valor e verificada a troca ou não de compartimentos, nova verificação de trocas de compartimentos (agora no novo tipo) é verificada de forma recursiva;

ATUALIZA_CONTEUDO_BIC(): esta rotina chama a rotina atual_bic(lf) de acordo com o tipo_bic e verifica a morte natural de bicudos adultos por "velhice" acumulando na variável MORTE_BIC[tsimul]; quando é verificada a troca de compartimentos (TROCA_BIC=1), esta rotina chama a si própria (recursivamente) a fim de verificar a necessidade de novas trocas de compartimentos em níveis já verificados anteriormente;

ATUALIZA_CONTEUDO_BRA(): esta rotina chama a rotina atual_bra(lf) com o valor de lf já definido pelo tipo_bra; caso ocorra troca de compartimentos, novas verificações de trocas de compartimentos em níveis já verificados é realizada através da reinicialização da própria rotina (recursividade);

ATUALIZA_DIA(k): esta rotina verifica se o dia atual é maior que o total de dias no mês (DIA_TOT); caso seja maior, atualiza do dia, troca o mês, fecha arquivo de temperatura do mês anterior e abre o arquivo de temperatura do novo mês;

ATUALIZA_POSICOES_ALG(): esta rotina carrega as informações do dia de simulação anterior (TSIMUL - 1) para o dia atual (TSIMUL) contidas nas matrizes ALG_QTD[][][] e ALG_GD[][][], obedecendo a disponibilidade de lugares; após trazer as estruturas já existentes no dia anterior, acrescenta a quantidade de graus-dia do novo dia aos compartimentos das estruturas já existentes na matriz ALG_GD[][][];

- ATUALIZA POSICOES_BIC:** esta rotina verifica o conteúdo da matriz BIC_QTD[[][]]; caso existam elementos, os graus-dia do novo dia são acrescentados a posição correspondente a esses elementos na matriz BIC_GD[[][]] e transferidos para o novo dia de simulação;
- ATUALIZA POSICOES BRA:** esta rotina atualiza os conteúdos das matrizes BRA_QTD[[][]] e BRA_DIA[[][]] para o novo dia de simulação, transcrevendo as informações do dia anterior para o novo dia, de acordo com a disponibilidade de lugares;
- BASE[max]:** é uma estrutura do tipo OBJETO que armazena a base de conhecimentos do sistema especialista;
- BAT:** quantidade de aplicações de inseticidas a serem feitas;
- BATERIA:** contador de aplicações de inseticidas;
- BIC_GD[tipo_alg][tsimul][lugar_bic]:** matriz cujos elementos são as quantidades de graus-dias acumulados pelos indivíduos em bic_qtd[tipo_bic][tsimul][lugar_bic]; OBS: os valores de graus-dias acumulados ocupam a mesma posição que os elementos, mas em matrizes distintas;
- BIC_QTD[tipo_alg][tsimul][lugar_bic]:** matriz cujos elementos são as quantidades de indivíduos do bicudo em tipo_bic existentes no dia de simulação tsimul e armazenadas no lugar_bic;
- BRA_DIA[tipo_bra][tsimul][lugar_bra]:** matriz cujos elementos são as quantidades de dias acumulados pelos indivíduos em bra_qtd[tipo_bra][tsimul][lugar_bra]; OBS: os valores de dias acumulados ocupam a mesma posição que os elementos, mas em matrizes distintas;
- BRA_QTD[tipo_bra][tsimul][lugar_bra]:** matriz cujos elementos são as quantidades de indivíduos do bracon em tipo_bra existentes no dia de simulação tsimul e armazenadas no lugar_bra;
- BISSEXTO:** determina se a safra termina em ano bissexto ou não (bissexto=1, termina em ano bissexto; bissexto=2, não termina em ano bissexto;);
- BOT_VIS:** informa a quantidade média de botões florais/planta do algodão, presos na planta, vistos pelo usuário(atacados ou não) presos na planta(sadios ou não);
- BOT_AL:** indica a quantidade média de botões florais/planta (presos na planta) com sinais de alimentação;
- BOT_AMB:** informa a quantidade média de botões florais (presos na planta) apresentando sinais de oviposição e alimentação do bicudo no mesmo recurso;
- BOT_CAI:** informa a quantidade média de botões florais/planta caídos no chão;
- BOT_CAI_AMB:** quantidade média de botões florais/planta caídos no chão apresentando sinais de ataque por alimentação e oviposição de bicudo no mesmo recurso;

- BOT_CAI_AT:** indica a quantidade de botões florais/planta caídos no chão por ataque do bicudo;
- BOT_CAI_AT_AL:** indica a quantidade de botões florais/planta caídos no chão com sinais de ataque por alimentação do bicudo;
- BOT_CAI_AT_OV:** indica a quantidade de botões caídos no chão com sinais de ataque somente de oviposição do bicudo;
- BOT_DAN:** indica a quantidade média de botões florais/planta do algodão, presos na planta, danificados apresentando sinais de ataque ou não;\
- BOT_DAN_AT:** Botões florais/planta danificados por ataque do bicudo
($BOT_DAN_AT = BOT_OV + BOT_AL + BOT_AMB$);
- BOT_OM:** quantidade de botões florais/planta danificados por outros motivos
($BOT_OM = BOT_DAN - BOT_DAN_AT$);
- BOT_OV:** indica a quantidade média de botões florais/planta (presos na planta) com sinais de oviposição do bicudo;
- BOT_STRE:** quantidade de botões florais/planta caídos por stress natural
($BOT_STRE = BOT_CAI - BOT_CAI_AT$);
- BRA_FEM:** esta variável permite ao usuário escolher se a população de fêmeas de bracon a ser lançada na lavoura obedecerá a razão sexual natural ou se será diferente do usual($BRA_FEM = "sim"$, será diferente do usual; $BRA_FEM = "não"$, será de acordo com a taxa natural);
- CAUSA_QUEDA(ti alg):** esta rotina acumula estruturas de tipo *alg* na variável *ACUM_CAI_ALG*, bem como zera os compartimentos a elas correspondentes nas matrizes *ATAQ_ALG[][][]* e *ATAQ_DIA[][][]*;
- CHU0:** queda de botões pequenos por ação de chuva forte;
- CHU5:** queda de flor por ação de chuva forte;
- CONT:** armazena a quantidade de dias desde o plantio;
- CONT_CONTROL:** contador de controle de fim de operação daas baterias de inseticida;
- DAN_ACUM:** danos causados as estruturas do algodoerio acumulados ;
- DATA_BOT:** indica que o primeiro botão floral apareceu ($data_bot=1$); caso contrário, $data_bot=0$;
- DIA:** indica o dia do plantio do algodão;
- DIA:** controla o dia real desde o plantio;
- DIA_APLIC:** contador de dias desde a aplicação do inseticida;
- DIA_BRA:** informa o dia da entrada da população de Bracon na lavoura;

- DIA_MES(mes): chama a rotina dia_mes para o mes de simulação a fim de verificar o total de dias existentes neste mês (DIA_TOT);
- DIA_MES(h): esta rotina recebe como parâmetro o mês de simulação (MES DIG - 1) na variável h e calcula a quantidade total de dias deste mês (DIA_TOT);
- DIAS: indica a quantidade de dias acumulados desde o plantio até a idade atual da planta do algodoeiro;
- DIAS_GERM: esta variável armazena a quantidade de dias até a germinação da semente (DIAS_GERM= DIAS- ID_PLAN);
- DISP_ATAQ: quantidade total de estruturas do algodão disponíveis para ataque;
- EFIC_INSET(x): esta função tem como parâmetro o dia (dentro do intervalo entre aplicações de inseticida) para calcular a eficiência funcional econômica do inseticida seletivo nesse dia; a função retorna reduz, que é a taxa de redução da população de adultos do bicudo neste dia x;
- EMISSÃO(dia emi): esta rotina imprime relatório do dia 0 até o dia final de simulação (DIAS_SIM), em intervalos de DIA_EMI dias (DIA_EMI= 1, 3 ou 7 dias);
- ENTRADA LAVOURA(): esta rotina permite ao usuário a entrada de dados via teclado, ou através de um arquivo pré existente com as informações necessárias (USUARIO.DAT); a variável ENTRADA escolhe a forma de entrada dos dados do usuário (entrada=1, entrada de dados por arquivo usuário.dat; entrada=2, entrada de dados por teclado;);
- ESTR_AT: quantidade de estragos decorrentes de ataque do bicudo a estruturas do algodão (ESTR_AT= BOT_DAN_AT + BOT_CAI_AT +FV_DAN);
- EXPERT_CARREGA(): esta rotina do sistema especialista carrega a base de conhecimentos quando necessária sua utilização;
- EXPERT_ENTRA(): esta rotina do sistema especialista entra com objetos e atributos na base de conhecimentos;
- EXPERT_INFERE(): esta rotina do sistema especialista lê dados do sistema principal armazenados no arquivo AMBIENTE.DAT (variáveis: DIAS_SIM, CHOVE, ACIONA, ODOR) e compara com os objetos da base (BASE[t].NAME) até alcançar o inseticida indicado na base de conhecimentos;
- EXPERT_SALVA(): esta rotina do sistema especialista salva a base de conhecimentos no arquivo EXPERT.DAT;
- EXTRA_INFORM(): esta rotina armazena informações adicionais com relação aos inseticidas recomendados pela base de conhecimentos do sistema especialista no arquivo DOSAGEM.DAT; as informações são:
INSET_NAME: armazena o nome do inseticida;
BAT: armazena a quantidade de aplicações necessárias em cada bateria;

INTER: informa o intervalo (número de dias) entre uma aplicação de inseticida e outra;

FATOR_INSET: apresenta a percentagem de mortalidade de adultos do bicudo no primeiro dia de aplicação do inseticida;

EFIC_ZERO: apresenta o dia em que a eficiência funcional econômica do inseticida aplicado torna-se zero

FALTA_ALI: Apresenta a quantidade de sinais de alimentação que ainda devem ser alocados à estruturas de acordo com a preferência do inseto;

FALTA_REP: Apresenta a quantidade de sinais de reprodução que ainda devem ser alocados à estruturas de acordo com a preferência do inseto;

FAT_BIO: esta variável contém o valor 1 se a presença do bracon for desejada, caso contrário recebe valor 0;

FAT_FISICOS(k): esta rotina permite que o usuário escolha a forma de apresentação dos dados de:

TEMPERATURA: 0= default (média dos últimos 7 anos);

1= aleatória;

A escolha 0 ou 1 é armazenada na variável

ALE_TEMP;

PLUVIOSIDADE: 0= default (média dos últimos 7 anos);

1= aleatória;

A escolha 0 ou 1 é armazenada na variável

ALE_PLU;

FEM_BRA: quantidade de fêmeas de bracon/planta;

FIM_CONTROL: indicador do fim da eficiência funcional do inseticida;

FLOR: quantidade de flores/planta sadias;

FLOR_DAN: quantidade de flores/planta danificadas, caídas no chão;

FREE_TAILS(): aloca memória livre;

FV: quantidade de frutos verdes/planta;

FV_DAN: quantidade de frutos verdes/planta danificados;

GD(x,y,c): esta função calcula os graus-dia do dia de simulação para os parâmetros de x= Temperatura mínima, y= Temperatura máxima e c= temperatura base do ser, do dia;

GD_ALG: esta variável recebe o valor de graus-dia (do dia) do algodão;

ID_F: recebe o retorno da função ajusta_potencial(pot_bot), isto é , calcula o número de dias desde o aparecimento do primeiro botão floral na lavoura, respectivo ao potencial de botões encontrados na lavoura (pot_bot);

ID_PLAN: informa a idade atual da planta do algodoeiro;

ID_TEO: informa a idade teórica do aparecimento do primeiro botão floral na lavoura;

ID_X: informa o número de dias acumulados desde o aparecimento do primeiro botão floral na lavoura;

IMIG: estimativa de novos adultos de bicudo recém ingressados à lavoura (IMIG=AD_ESTR -N_ADULT);

INTER: quantidade de dias entre aplicações de inseticida;

INTER: quantidade de dias entre aplicações de inseticida;

L_POS: apresenta a posição atual de verificação dos objetos na base de conhecimentos;

JAMIL: variável auxiliar que recebe o retorno da função POT_ALG(ID_X); recebe o potencial de botões acumulados até id_x dias;

L_POS: apresenta a posição atual de verificação dos objetos na base de conhecimentos;

LUG_PREF[]: vetor que apresenta o tipo de estrutura do algodão associado ao nível de preferência do inseto estabelecido pela mesma posição em PREF_REP[];

LUGAR_ALG: é a posição na matriz ALG_QTD[][][] ou ALG_DIA[][][] no compartimento tri dimensional; esta variável impede a sobreposição de indivíduos de mesmo tipo, diferenciando-os;

LUGAR_BIC: é a posição na matriz BIC_QTD[][][] ou BIC_DIA[][][] no compartimento tri dimensional; esta variável impede a sobreposição de indivíduos de mesmo tipo, diferenciando-os;

LUGAR_BRA: é a posição na matriz BRA_QTD[][][] ou BRA_DIA[][][] no compartimento tri dimensional; esta variável impede a sobreposição de indivíduos de mesmo tipo, diferenciando-os;

MANEJO(): esta rotina abre o arquivo dosagem.dat para leitura, resgatando as variáveis inset_name, bat, inter, fator_inset e efic_zero; posteriormente abre o arquivo recomen.dat para escrita e armazena tsimul, inset_name, bat e inter;

MAX: Quantidade máxima de objetos na base de conhecimentos;

MES: mês de simulação (MES+ MES_DIG -1);

MES_BRA: informa o mês de entrada da população de Bracon na lavoura;

MES_DIG: indica o mês de realização do plantio do algodão;

MM_PLUVIO(l_mes): esta rotina estima a quantidade de mm de chuva precipitados no dia tsimul (caso a rotina pluvio(l_mes) tenha informado que chove no dia, através de distribuição exponencial negativa não trivial, com parâmetros calculados mensalmente;

MORTE_INS(xbat, xdia): esta rotina passa como parâmetros o número da bateria (xbat) e o dia do intervalo (xdia), posteriormente chama a função `efic_inset(x_dia)` e aplica o coeficiente reduz na população adulta do bicudo;

MOSTRA_ATAQALG(ti_ini, ti_fim, ti_sim): esta rotina calcula a quantidade de estruturas (compreendidas entre os tipos ti_ini e ti_fim) do algodão, já atacadas mas ainda disponíveis na planta para novos ataques do bicudo no dia ti_sim de simulação. Os valores totais são armazenados em `ataqj` (com $0 \leq i \leq 10$) e os valores atacados por dia, nas matrizes `ataq_alg[][][]` (quantidades atacadas) e `ataq_dia[][][]` (quantidade de dias desde o ataque);

N_ADULT: quantidade média de adultos do bicudo/planta;

N_AL_BIC: número médio de sinais de alimentação/adulto/planta/dia;

*NÃO: é apontador para uma estrutura de atributos com respostas NÃO;

*NAOPROXIMO: é uma estrutura do tipo atributo que aponta para o próximo elemento da lista NAO;

NASC= recebe a quantidade de botões recém nascidos no dia id_x;

NASC_X(j): esta função calcula a quantidade de botões florais/planta novos, nascidos no dia j de simulação e retorna VALOR;

OBJETO: é uma estrutura dos sistema especialista que armazena as considerações pertinentes aos objetos pertencentes a base de conhecimentos do sistema especialista; esta estrutura apresenta dois membros:
name[] = vetor com no máximo 20 caracteres que armazena o nome dos objetos pertencentes a base de conhecimentos do sistema;
*alist = apontador para o próximo objeto;

OB: é uma estrutura do tipo OBJETO;

ODOR: indica se a lavoura está localizada perto de comunidades, onde o odor do inseticida seletivo a ser utilizado no controle químico do bicudo é importante (odor= sim, é importante; odor= não, não é importante;);

OPCAO_REL: esta variável faz parte do menu da rotina relatório, recebendo a opção desejada pelo usuário(1=emissão semanal; 2= emissão de 3 em 3 dias; 3= emissão diária, ou 4= saída da rotina de relatório);

OVIP_BIC: número médio de ovos/fêmea/planta/dia do bicudo;

OVIP_BRA: números de ovos/fêmea bracon/planta/dia;

PABRA_QTD[tsimul]: quantidade de larvas do bicudo parasitadas por bracon no dia tsimul;

PARASITOIDE_BRACON(k): esta rotina pergunta ao usuário se ele quer ou não analisar a dinâmica populacional do bicudo do algodoeiro na presença do ectoparasito de suas larvas (Bracon vulgaris), um de seus inimigos naturais; (AVAL_BRAC= "sim", bracon será inserido na análise; AVAL_BRAC= "não", caso contrário);

PEGA_PROXIMO(): é uma das rotinas do sistema especialista; esta rotina encontra a próxima posição (L POS) na base de conhecimentos, relativas ao novo objeto (BASE[].nome[0]);

PENC_i: probabilidade de encontrar a estrutura de algodão do tipo i (0 ≤ tipo ≤ 9) para ataque do bicudo;

PENC_BOT_LAR: probabilidade de encontrar larva do bicudo de tamanho bom para parasitismo de Bracon sp;

PERGUNTA(atrib): esta rotina do sistema especialista verifica se o atributo a ser verificado já foi respondido anteriormente pelo usuário ou não ;

PER_STRE: percentagem de queda de estruturas do algodão por stress natural;

POP_ALG(ti_ini, ti_fim, ti_sim): esta rotina calcula a disponibilidade de estruturas do algodão por planta, com tipos compreendidos entre TI_INI e TI_FIM, para o dia de simulação TI_SIM; A quantidade total de estruturas disponíveis por fase é armazenada em DISP_i (i = tipo da estrutura que varia de 0 a 10); o vetor conta[i] apresenta a quantidade de lugares disponíveis para o tipo i; nesta rotina é calculada também a quantidade total de estruturas disponíveis na planta para ataque (DISP_ATAQ) bem como as quantidades totais de botões/planta, frutos/planta e flores/planta:

$$ALG_BOT = \sum_{i=0}^4 disp_i$$

$$ALG_FLOR = disp_5$$

$$ALG_FV = \sum_{i=6}^{10} disp_i$$

POP_BIC(ti_ini, ti_fim, ti_sim): esta rotina calcula a disponibilidade de bicudos nas fases de ovo, larva, pupa, fêmeas pré-ovipositoras, fêmeas ativas e machos, dentro de botões florais (OVO BOT, LAR BOT, PUP BOT), dentro de frutos verdes (OVO FV, LAR FV, PUP FV) ou em vida livre (FPR BIC, FEM_BIC, MAC_BIC), além de informar a quantidade de larvas de bicudo com tamanhos próprios para serem parasitadas por fêmeas de Bracon (TAM_LAR_PAR); estas variáveis são calculadas de acordo com a necessidade do usuário através da escolha dos parâmetros da rotina (TI_INI= tipo_bic inicial; TI_FIM+ tipo_bic final e TI_SIM= dia de simulação);

POP_BRA(ti_ini, ti_fim, ti_sim): esta rotina calcula a disponibilidade de indivíduos de bracon em cada uma de suas fases de desenvolvimento, de acordo com as necessidades do usuário (TI_INI= fase inicial, TI_FIM= fase final, TI_SIM= dia de simulação) e armazenados nas variáveis OVO_BRA, LAR_BRA, PUP_BRA, FEM_BRA e MAC_BRA;

POT_ALG(w): esta função retorna o potencial de botões florais para o dia w (contados a partir do aparecimento do primeiro botão floral na lavoura); retorna AUX;

POT_BOT: potencial de botões florais/planta encontrados no campo (POT_BOT= BOT_VIS + BOT_CAI + FLOR_DAN + FLOR + FV+ FV_DAN);

PLUVIO(l_mes): esta rotina informa se vai chover ou não no dia t simul, utilizando parâmetro, definidos para a região de Campinas, da distribuição de Bernoulli para o mês l_mes;

PRIM_BOT: Somatório de graus-dias para o aparecimento do primeiro botão floral na lavoura;

PREF_ALI[i]: apresenta a percentagem de preferência do inseto para alimentação na estrutura de tamanho alocado em LUG_ALI[i];

PREF_REP[i]: apresenta a percentagem de preferência do inseto para reprodução na estrutura de tamanho alocado em LUG_PREF[i];

QN_CHUVA: escreve no quadro negro a situação do dia de simulação com relação a precipitação ou não de chuva (QN_CHUVA= "sim_chuva", choveu no dia; QN_CHUVA= "nao_chuva", não choveu no dia);

QN_IN: esta variável de quadro negro informa a presença do inimigo natural (QN_IN="sim_in") ou não (QN_IN="nao_in") na lavoura;

QN_LIMIAR: variável de quadro-negro que indica se o limiar foi (QN_LIMIAR= "sim_limiar") ou não (QN_LIMIAR= "nao_limiar") foi acionado;

QN_ODOR: recebe a situação do ambiente para com a sensibilidade do odor do inseticidaa(sim odor= sensibilidade é importante, não_odor, caso contrário) e escreve no quadro negro (qn_odor);

RELATÓRIO(): esta rotina pertence ao menu principal do sistema e fornece relatórios de monitoramento da lavoura com relação às populações do bracon, do bicudo e do algodão para cada uma de suas fases de desenvolvimento, bem como o monitoramento das estruturas de algodão atacadas e das larvas de bicudo parasitadas;

REP*: ataque de bicudo na estrutura do tipo * para reprodução (oviposição);

RESTO_BRA: variável auxiliar na distribuição de larvas de bicudo parasitadas;

SAI(): esta rotina faz parte do menu principal do sistema e serve para que o usuário informe se deseja abandonar o sistema (SAIDA= "sim") ou continuar (SAIDA= "nao");

*SIM: é um apontador para uma estrutura de atributos com respostas SIM;

SIMULADOR(): esta rotina pergunta ao usuário a quantidade de dias a simular (DIAS_SIM), calcula danos e potencial de botões florais pelas informações dadas pelo usuário, faz comparações dos estados da planta no campo e na

média, informa discrepâncias, faz ajustes e executa a simulação até a quantidade de dias determinada pelo usuário;

*SIMPROXIMO: é uma estrutura do tipo atributo que aponta para o próximo elemento da lista SIM;

SOBREVIVÊNCIA(tipo_x): esta rotina apresenta a razão de sobrevivência (P_SOB) genética do bicudo na troca de uma fase de desenvolvimento para outra; O parâmetro TIPO_X indica a nova fase de desenvolvimento que estará começando;

SOM_GD: variável auxiliar que acumula graus-dias desde a germinação até o dia de entrada do usuário;

STRE*: quantidade de estruturas de algodão do tipo * caídas ao chão por stress natural;

TB_ADU: Temperatura base da fase adulta do bicudo;

TB_ALG: Temperatura base do algodão;

TB_LAR: Temperatura base da fase de larva do bicudo;

TB_OVO: Temperatura base da fase de ovo do bicudo;

TB_PUP: Temperatura base da fase de pupa do bicudo;

TENTA(p,ob): rotina do sistema especialista que encontra as respostas do sistema (RESP_SIST) na comparação dos atributos pertencentes aos objetos da base de conhecimentos com a situação encontrada no ambiente (qn_chuva, qn_limiar, qn_odor, qn_in); (RESP_SIST=0, indica que RESPOSTA foi 's' (resposta "sim" na verificação existência do atributo do objeto; caso contrário, RESP_SIST representa RESPOSTA 'n' (resposta "não" na verificação da existência do atributo do objeto);

TENTOUNAO(p): esta rotina do sistema especialista armazena a lista de atributos do objeto que receberam resposta "não"; o parâmetro P é o apontador do atributo em verificação;

TENTOUSIM(p): esta rotina dos sistema especialista armazena a lista de atributos do objeto que receberam resposta "sim"; o parâmetro P é o apontador do atributo em verificação;

TMAX: temperatura mínima do dia ; este valor é lido do arquivo TEMP_*.dat(*=mes);

TMIN: temperatura mínima do dia ; este valor é lido do arquivo TEMP_*.dat(*=mes);

TOT_AL: total de danos nas estruturas do algodoeiro causados por sinais de alimentação de bicudo; (TOT_AL= BOT_AL+ BOT_CAI_AL+ BOT_CAI_AMB);

TOT_ESTR: total de estragos ocasionados nas estruturas (TOT_ESTR= ESTR_AT + BOT_STRE)

TSIMUL: é o dia de simulação;

VALOR: de acordo com o tipo da estrutura de algodão, valor recebe o tipo de ataque associado;

VERIFICA_QUEDA_BOTAO(): esta rotina verifica se decorreram os 6 dias desde o ataque inicial as estruturas pertencentes a matriz ATAQ_ALG[[]][[]], verificando os conteúdos da matriz ATAQ_DIA[[]][[]]; caso a quantidade de dias acumulados para a retirada dos elementos tenham sido atingidos, a retirada é efetuada acionando a rotina causa_queda(tipo_alg);

X_BERNOULLI: recebe o retorno de pluvio(mes); (X_BERNOULLI=1, chove; X_BERNOULLI= 0, não chove)

Y(x): esta função calcula a disponibilidade de botões florais/planta acumulados na semana e retorna este valor na variável VALOR;

B) ARQUIVOS:

ALGODAO.DAT: este arquivo armazena a quantidade de estruturas frutíferas da planta para cada dia simulado, incluindo a quantidade de botões por tipos;

AMBIENTE.DAT: este arquivo armazena todas as informações do ambiente para cada dia de simulação;

ATAQ_ALG.DAT: este arquivo armazena a quantidade de estruturas frutíferas da planta atacadas mas ainda presas na planta, em cada tsimul;

BICUDO.DAT: este arquivo armazena o estado da população do bicudo para cada dia simulado;

BRACON.DAT: este arquivo armazena informações populacionais quantitativas do bracon em cada tsimul;

DOSAGEM.DAT: fornece considerações específicas quanto aos inseticidas seletivos pertencentes a base de conhecimentos do sistema especialista, referentes a aplicação do produto para o combate eficiente do bicudo;

EXPERT.DAT: armazena a base de conhecimentos do sistema especialista;

RECOMEN.DAT: este arquivo armazena as recomendações feitas pelo sistema especialista em casos onde o limiar econômico de dano foi encontrado;

TEMP JAN.DAT: armazena dia, temperatura máxima e temperatura mínima (médias) registradas nos últimos dez anos para a região de Campinas/SP, relativas ao mês de janeiro;

TEMP FEV.DAT: armazena dia, temperatura máxima e temperatura mínima (médias) registradas nos últimos dez anos para a região de Campinas/SP, relativas ao mês de fevereiro;

TEMP MAR.DAT: armazena dia, temperatura máxima e temperatura mínima (médias) registradas nos últimos dez anos para a região de Campinas/SP, relativas ao mês de março;

TEMP ABR.DAT: armazena dia, temperatura máxima e temperatura mínima (médias) registradas nos últimos dez anos para a região de Campinas/SP, relativas ao mês de abril;

TEMP JUN.DAT: armazena dia, temperatura máxima e temperatura mínima (médias) registradas nos últimos dez anos para a região de Campinas/SP, relativas ao mês de junho;

TEMP JUL.DAT: armazena dia, temperatura máxima e temperatura mínima (médias) registradas nos últimos dez anos para a região de Campinas/SP, relativas ao mês de julho;

TEMP AGO.DAT: armazena dia, temperatura máxima e temperatura mínima (médias) registradas nos últimos dez anos para a região de Campinas/SP, relativas ao mês de agosto;

TEMP SET.DAT: armazena dia, temperatura máxima e temperatura mínima (médias) registradas nos últimos dez anos para a região de Campinas/SP, relativas ao mês de setembro;

TEMP OUT.DAT: armazena dia, temperatura máxima e temperatura mínima (médias) registradas nos últimos dez anos para a região de Campinas/SP, relativas ao mês de outubro;

TEMP NOV.DAT: armazena dia, temperatura máxima e temperatura mínima (médias) registradas nos últimos dez anos para a região de Campinas/SP, relativas ao mês de novembro;

TEMP DEZ.DAT: armazena dia, temperatura máxima e temperatura mínima (médias) registradas nos últimos dez anos para a região de Campinas/SP, relativas ao mês de dezembro;

USUARIO.DAT: este arquivo armazena os dados iniciais da condição da lavoura , sendo portanto os dados de entrada do sistema principal;