



LUZIA APARECIDA DA COSTA

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA
DINÂMICA TEMPORAL DE FORMAS
ÁPTERAS E ALADAS DO PULGÃO *APHIS*
GOSSYPHII GLOVER, 1877 EM ALGODOEIRO
(*GOSSYPIUM HIRSUTUM L.*)**

LAVRAS - MG

2011

LUZIA APARECIDA DA COSTA

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA DINÂMICA TEMPORAL DE
FORMAS ÁPTERAS E ALADAS DO PULGÃO *APHIS GOSSYPHII*
GLOVER, 1877 EM ALGODOEIRO (*GOSSYPIUM HIRSUTUM* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, área de concentração em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Dra. Solange Gomes Faria Martins

Coorientador

Dr. Maurício Sérgio Zacarias

LAVRAS - MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Costa, Luzia Aparecida da.

Simulação computacional da dinâmica temporal de formas
âpteras e aladas do pulgão *Aphis gossypii* Glover, 1877 em
algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) / Luzia Aparecida da Costa. –
Lavras : UFLA, 2011.

70 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Solange Gomes Faria Martins.

Bibliografia.

1. Praga. 2. Economia. 3. Estatística. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 519.5

LUZIA APARECIDA DA COSTA

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA DINÂMICA TEMPORAL DE
FORMAS ÁPTERAS E ALADAS DO PULGÃO *APHIS GOSSYPII*
GLOVER, 1877 EM ALGODOEIRO (*GOSSYPIUM HIRSUTUM* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária, área de concentração em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 22 de fevereiro de 2011.

Dra. Brígida de Souza UFLA

Dr. João Domingos Scalon UFLA

Dr. Mauricio Sergio Zacarias UFLA

Dra. Solange Gomes Faria Martins
Orientadora

LAVRAS - MG

2011

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que me deu força nesta jornada, a minha mãe que é a razão da minha vida, e à pessoa que amo pelo apoio e compreensão sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Universidade Federal de Lavras pela oportunidade de estudo, e à FAPEMIG pelo apoio financeiro. Também agradeço à professora Solange, pela paciência e ao pesquisador Zacarias, meu querido coorientador, que sempre me esclareceu todas as dúvidas, desde as mais simples até as mais complexas. Aos amigos da turma de mestrado 2009 agradeço, e aos amigos de departamento também, professores, estudantes e funcionários do DEX.

RESUMO

O agronegócio do algodão *Gossypium hirsutum* L. é uma das principais atividades, tanto na geração de renda quanto na geração de empregos em todo o mundo, especialmente nos setores primário e industrial. Como cultura industrial, o algodão tem, em sua cadeia produtiva, diversos setores que empregam e/ou fornecem ocupação, desde o campo até a indústria de confecção. O algodão tem sua importância destacada no mundo inteiro por ser um dos dez principais cultivos que movimentam a economia mundial. Além da fibra, seu principal produto, o algodoeiro produz diversos subprodutos, que apresentam também grande importância econômica. Apesar da importância econômica e social, observou-se nas duas últimas décadas um declínio drástico na atividade algodoeira. O pulgão *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) é considerado praga-chave em diversas regiões produtoras do Brasil e do mundo, principalmente para variedades suscetíveis aos vírus por ele transmitido. Embora já tenha sido considerado um problema pequeno, atualmente esta praga causa sérios problemas em muitas áreas de produção de algodão. Baseado em dados experimentais relatados na literatura científica (SOUZA, 2008) desenvolveram um modelo para a dinâmica temporal de formas ápteras e aladas de *A. gossypii* em diferentes temperaturas e cultivares de crisântemo. Neste trabalho a proposta é uma pequena alteração ao modelo, que leva em conta o aparecimento de formas aladas na população dependente da densidade populacional. Posteriormente, devido à importância agrícola do algodão e o prejuízo causado por esta praga, a sua produção objetiva-se aplicar o modelo à dinâmica temporal de formas ápteras e aladas do pulgão *Aphis gossypii* criado sobre algodão *Gossypium hirsutum* L. e, para finalizar, considera-se na dinâmica a presença de parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes*. O comportamento de parâmetros biológicos, tais como longevidade, taxa intrínseca de crescimento e duração de uma geração em diferentes situações é analisado a partir do modelo, e comparado com observações experimentais, e pode-se observar que o modelo reproduz de forma satisfatória a dinâmica dos afídeos nas diferentes situações.

Palavras-chave: Modelo Penna. Dinâmica populacional. Economia. Pragas.

ABSTRACT

Agribusiness cotton *Gossypium hirsutum* L. is a major activity in both income and job generation in the world, especially in the agricultural and industrial. As industrial culture, the cotton has in its supply chain, several sectors that employ and /or provide occupation, from the field to the garment industry. Cotton has highlighted its importance worldwide as one of ten major crops that moves the world economy. In addition to the fiber, its main product, the cotton plant produces many byproducts, which are also economically important. Despite the economic and social importance, it was observed in the last two decades a drastic decline in activity in cotton. The aphid *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) is considered a pest in several key producing regions of Brazil and the world, with varieties susceptible to viruses transmitted through it. Although it has been considered a minor problem, now this pest causes serious problems in many areas of cotton production. Based on experimental data reported in scientific literature (SOUZA, 2008) developed a model for the temporal dynamics of apterous and winged forms of *A. gossypii* in different temperatures and chrysanthemum cultivars. In this paper the proposal is a minor change to the model, which takes into account the emergence of winged forms in the population density-dependent population. Later, due to the importance of cotton and agricultural damage caused by this pest, its production objective is to apply this model to the temporal dynamics of apterous and winged forms of *Aphis gossypii* reared on cotton *Gossypium hirsutum* L. and, finally, it is dynamic in the presence of parasitic by *Lysiphlebus testaceipes*. The behavior of biological parameters such as longevity, intrinsic growth rate and duration of a generation in different situations is analyzed from the model, and compared with experimental observations, and can be seen that the model reproduces satisfactorily the dynamics of aphids in different situations.

Keywords: Model Penna. Population dynamics. Economy. Pests.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Plantação de algodão no Brasil.....	18
Figura 2	Esquema do ciclo de vida anolocíclico (incompleto) de pulgões.....	23
Figura 3	Esquema do ciclo de vida dos afideos anolocíclicos.....	24
Figura 4	<i>Aphis gossypii</i> áptero na fase de ninfa.....	25
Figura 5	<i>Aphis gossypii</i> áptero na fase adulta.....	26
Figura 6	<i>Aphis gossypii</i> na sua forma alada.....	26
Figura 7	Adultos do parasitóide <i>Lysiphlebus testaceipes</i>	30
Figura 8	Esquema do ciclo de vida do parasitóide <i>Lysiphlebus testaceipes</i>	31
Figura 9	"Genótipo" do indivíduo, representado por uma palavra computacional de 32 <i>bits</i> . Os <i>bits</i> setados em 1 representam mutações deletérias e os <i>bits</i> setados em 0 ausência de mutações.....	40
Figura 10	Obtenção do "genótipo" da filha, em que foram escolhidos, aleatoriamente, os <i>bits</i> 4 e 7, para inserir as mutações deletérias.....	41
Gráfico 1	Curvas de sobrevivência do pulgão <i>Aphis gossypii</i> criado em <i>Gossypium hirsutum</i> L., com (linha pontilhada) e sem (linha contínua) a presença de alados em diferentes temperaturas.....	51
Gráfico 2	Valor médio da taxa intrínseca de crescimento (r_m) de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L. r_m experimental	

	(círculo); r_m simulado sem alado (quadrado) e r_m simulado com alado (estrela).....	53
Gráfico 3	Duração em dias de uma geração de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L. em diferentes temperaturas. Curva experimental (círculo); Curva simulada sem alado (quadrado) e curva simulada com alado (estrela).....	55
Gráfico 4	Duração de uma geração em função da longevidade de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L.: Curva experimental (círculo), curva simulada sem alados (quadrado) e curva simulada com alado (triângulo).....	56
Gráfico 5	Curvas de sobrevivência de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L. sem formação de alados: sem parasitismo (linha contínua) e com parasitismo por <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (linha pontilhada).....	58
Gráfico 6	Curvas de sobrevivência de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L. com formação de alados: sem parasitismo (preto) e com parasitismo por <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (vermelho).....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Duração do estágio ninfal (α), período pré-reprodutivo (β), longevidade (L), em dias, fecundidade total por fêmea (B) e fecundidade diária por fêmea (b) de <i>Aphis gossypii</i> Glover em <i>Gossypium hirsutum</i> L. em diferentes temperaturas (médias \pm semi-amplitude do intervalo de confiança 95%).....	27
Tabela 2	Taxa de crescimento intrínseca (r_m) e duração em dias de uma geração (τ) de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L. em diferentes temperaturas	28
Tabela 3	Porcentagens de parasitismo e emergência, razão sexual, períodos (em dias) da oviposição à formação da múmia, oviposição à Emergência do adulto e longevidade (em dias) de <i>Lysiphlebus testaceipes</i> no hospedeiro <i>Aphis gossypii</i> , à temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ (médias \pm semi-amplitude do intervalo de confiança 95%)	33
Tabela 4	Operações binárias AND, OR e XOR. A primeira coluna representa os valores possíveis de dois <i>bits</i> , e nas demais colunas, após a respectiva operação lógica.....	37
Tabela 5	Idade mínima de reprodução (RM), idade máxima de reprodução (RX), período de mumificação (ν), em dias, fecundidade diária (b) e taxa de parasitismo (ω) por <i>Lysiphlebus testaceipes</i> para o pulgão <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L.....	46
Tabela 6	Valor médio do tamanho populacional de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L., com [$\varphi = \varphi(t)$] e sem ($\varphi = 0,0$) a presença de alados em diferentes temperaturas (médias \pm	

	semiamplitude do intervalo de confiança 95%).....	50
Tabela 7	Valor médio da taxa intrínseca de crescimento de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L., com ($\varphi=\varphi(t)$) e sem ($\varphi=0,0$) a presença de alados em diferentes temperaturas (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%).....	52
Tabela 8	Duração em dias de uma geração de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L., com ($\varphi=\varphi(t)$) e sem ($\varphi=0,0$) a presença de alados em diferentes temperaturas (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%).....	54
Tabela 9	Valor médio do tamanho populacional de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L. sem formação de alados ($\varphi=0,0$), sem e com parasitismo por <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%).....	57
Tabela 10	Valor médio da taxa intrínseca de crescimento de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L. sem formação de alados ($\varphi=0,0$), sem e com parasitismo por <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%).....	59
Tabela 11	Duração em dias de uma geração de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L. sem formação de alados ($\varphi=0,0$), sem e com parasitismo por <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%).....	59
Tabela 12	Valor médio do tamanho populacional de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L. com formação de alados ($\varphi=\varphi(t)$), sem e com parasitismo por <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%).....	60
Tabela 13	Valor médio da taxa intrínseca de crescimento de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L. com formação de alados ($\varphi=\varphi(t)$), sem e com parasitismo por <i>Lysiphlebus</i>	

	<i>testaceipes</i>	62
Tabela 14	Duração em dias de uma geração de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L. com formação de alados ($\varphi=\varphi(t)$), sem e com parasitismo por <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (médias \pm semi-amplitude do intervalo de confiança 95%).....	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVO.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1	O algodão no Brasil.....	18
3.2	Fatores que afetam o desenvolvimento do algodoeiro.....	20
3.2.1	Importância econômica do pulgão <i>Aphis gossypii</i>	21
3.2.2	Biologia e aspectos comportamentais do pulgão <i>Aphis gossypii</i>	22
3.3	Controle de pragas.....	28
3.4	Controle Biológico do <i>Aphis Gossypii</i> pelo parasitóide <i>L. testaceipes</i>	30
3.5	Modelagem.....	33
3.6	Modelos para dinâmica de população com idade estruturada	34
3.6.1	O Modelo de Partridge e Barton.....	35
3.6.2	O Modelo de Heumann e Hotzel.....	35
3.6.3	Modelo Penna.....	36
4	METODOLOGIA.....	43
4.1	Modelo Penna adaptado à biologia de <i>Aphi gossypii</i> com inclusão de formas aladas e parasitismo.....	43
4.2	Dinâmica populacional de formas ápteras e aladas de <i>Aphis gossypii</i> em <i>Gossypium hirsutum</i> L.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1	Dinâmica temporal de <i>Aphis gossypii</i> Glover criado sobre <i>Gossypium hirsutum</i> L. na ausência de parasitismo.....	49
5.1.1	Tamanho populacional.....	49
5.1.2	Curvas de sobrevivência.....	50
5.1.3	Taxa intrínseca de crescimento.....	51
5.1.4	Duração de uma geração	53
5.2	Dinâmica temporal de <i>Aphis gossypii</i> Glover criado sobre <i>Gossypium irsutum</i> L. com parasitismo por <i>L. testaceipes</i>	56
5.2.1	Tamanho populacional - ($\varphi = 0,0$).....	56
5.2.2	Curvas de sobrevivência - ($\varphi = 0,0$).....	57
5.2.3	Taxa intrínseca de crescimento - ($\varphi = 0,0$).....	58
5.2.4	Duração de uma geração - ($\varphi = 0,0$).....	59
5.2.5	Tamanho populacional - ($\varphi = \varphi (t)$).....	60
5.2.6	Curvas de sobrevivência - ($\varphi = \varphi (t)$).....	60
5.2.7	Taxa intrínseca de crescimento - ($\varphi = \varphi (t)$).....	62

5.2.8	Duração de uma geração - ($\varphi = \varphi(t)$)	62
6	CONCLUSÕES FINAIS.....	64
	REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

O algodão tem sua importância destacada no mundo inteiro por ser um dos dez principais cultivos que movimentam a economia mundial. Além da fibra, seu principal produto, o algodoeiro produz diversos subprodutos que apresentam, também, grande importância econômica. Destaca-se o línter, que corresponde a cerca de 10% da semente do algodão, o óleo bruto, média de 15,5% da semente, a torta, que é quase a metade da semente, além da casca e do resíduo (4,9% do total) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA EM AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2008).

O agronegócio do algodão é uma das principais atividades tanto na geração de renda como na ocupação de mão de obra e na geração de empregos em todo o mundo, especialmente nos setores primário e industrial. Como cultura industrial, o algodão tem, em sua cadeia produtiva, diversos setores que empregam e/ou fornecem ocupação, desde o campo até a indústria de confecção. Em nível de produção primária, cerca de 70% do custo de produção total desta malvacea, no centro-oeste, representam mão de obra, o oposto das demais regiões do Brasil e dos países produtores, que empregam elevado nível tecnológico. Com base em coeficientes técnicos dos sistemas de produção de algodão herbáceo praticados no semiárido nordestino, estimou-se que a cada 3 hectares plantados é ofertado um emprego direto. Em 2005, no semiárido nordestino, o cultivo do algodão herbáceo alcançou uma área de plantio de aproximadamente 75 mil hectares, resultando na ocupação direta de 25 mil trabalhadores (EMBRAPA, 2008).

Apesar da importância econômica e social, observou-se nas duas últimas décadas um declínio drástico na atividade algodoeira. O pulgão *Aphis gossypii*, Glover 1877 (Hemiptera: Aphididae) é considerado praga-chave em diversas regiões produtoras do Brasil e do mundo, principalmente para variedades

suscetíveis aos vírus por ele transmitido (SANTOS et al., 2004). Esse inseto ocorre durante todo o ciclo da cultura, com infestações mais severas dos 30 aos 70 dias de idade das plantas, e também na fase de maturação dos capulhos (GALLO et al., 2002), interferindo na qualidade do produto colhido. Ao se alimentar da seiva do floema, inocula toxinas, excreta substâncias açucaradas favorecendo o desenvolvimento da fumagina e, transmite vírus, como o do vermelhão do algodoeiro e o do mosaico das nervuras ou doença-azul. Embora já tenha sido considerado um problema pequeno, atualmente esta peste causa sérios problemas em muitas áreas de produção de algodão (MICHELOTTO; BUSOLI, 2003).

O pulgão *Aphis gossypii* é uma praga de importância agrícola em diversas partes do mundo, inclusive o Brasil. Dentre os principais fatores que dificultam o seu controle, pode-se citar o grande número de espécies hospedeiras, tolerância a temperaturas extremas e alta fecundidade (SAMPAIO et al., 2005). Baseado em dados experimentais obtidos por Rodrigues et al. (2004), Soglia, Bueno e Rodrigues (2003), Soglia, Bueno e Sampaio (2005) e Souza(2008) desenvolveram um modelo para a dinâmica temporal de formas ápteras e aladas de *Aphis gossypii* em diferentes temperaturas e cultivares de crisântemo. Trataram, inclusive, da ação do parasitóide *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880) sobre o hospedeiro *Aphis gossypii*.

Neste trabalho, devido à importância agrícola do algodão e o prejuízo causado por esta praga em sua produção será aplicado o modelo proposto por Souza (2008) mediante pequenas alterações.

2 OBJETIVO

Dada a importância econômica do algodão já mencionada anteriormente, e o conhecimento de que o pulgão *Aphis gossypii* é uma praga que causa danos significativos a esta malvacea, pretende-se aplicar o modelo proposto por Souza (2008) a dinâmica temporal de formas ápteras e aladas desse afídeo no algodão *Gossypium hirsutum*, mediante algumas alterações tais como a formação de formas aladas, que se dará através de uma probabilidade dependente da densidade de afídeos na população. E ainda, os afídeos sofrerão a ação do parasitóide *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880) para caracterizar um manejo de pragas através de um controle biológico, esta ação será realizada apenas na temperatura de 25°C devido ao fato de esta se encontrar no intervalo de temperatura de melhor desenvolvimento para os afídeos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O algodão no Brasil

No Brasil, desde o período em que o país era colônia de Portugal (1500 a 1822), o cultivo do algodão vem sendo explorado comercialmente. No Século XVIII, ainda no período colonial, o estado do Maranhão se destacou como um grande fornecedor de fibras para as fiações inglesas que dominavam o mercado mundial de tecidos. Do Maranhão o cultivo se estendeu e a produção se organizou no semiárido do Nordeste, tornando os Estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, grandes produtores. Nesses Estados era cultivado, principalmente, o algodão arbóreo, em especial o mocó, na região climática do Seridó do Rio Grande do Norte e da Paraíba (Figura 1) (TAKEYA,1985).



Figura 1 Plantação de algodão no Brasil

Durante toda a história do Brasil o algodão se fez presente como uma cultura de exportação, tendo piques de retomadas de crescimento sempre que havia problemas na produção norte-americana, como durante a Guerra de Independência, sua Guerra de Sucessão e durante as Grandes Guerras Mundiais (MENDONÇA, 1973; TAKEYA, 1985). Somente a partir de 1890, com o crescimento e consolidação da Indústria têxtil no Brasil, é que a produção nacional se tornou firme e crescente, com o algodão assumindo a condição de principal cultura agrícola dos estados nordestinos (TAKEYA, 1985), produzindo de 10% a 20% de excedentes para exportação e tornando o Brasil um dos principais produtores e exportadores do mundo (BELTRÃO, 1996).

O Brasil chegou a ter 3,5 milhões de hectares de algodão plantados na safra 1973/1974, sendo a maior parte cultivada com algodão arbóreo. Dadas as dificuldades ecológicas em que a cultura era cultivada e a falta de adoção de tecnologias apropriadas, a produtividade se situava em torno de 150 kg/ha de algodão em caroço, muito baixa e sem competitividade. Destaca-se que mesmo na safra 1973/1974, o algodão herbáceo, com maior produtividade, já ocupava uma área de 1.723,2 mil hectares, produzindo 844,5 kg/ha de algodão em caroço, com produção total de 522,5 mil toneladas de algodão em pluma. No Nordeste, o algodão herbáceo foi cultivado em 809,1 mil hectares na safra 1973/1974, ocasião em que a Bahia contribuiu com 36,9% da área plantada, especialmente na zona produtora da região de Guanambi (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 1974). Essa produção era feita em moldes tradicionais, no âmbito da agricultura familiar, baseada em pequena escala e baixo padrão tecnológico.

3.2 Fatores que afetam o desenvolvimento do algodoeiro

Luz, umidade, solo, ar e temperatura são fatores climáticos incontroláveis que interferem no desenvolvimento, no crescimento e na produtividade do algodoeiro (EMBRAPA, 2008). A temperatura ideal para o desenvolvimento dessa malvacea se encontra entre 22°C a 32°C. Temperaturas inferiores a 22° C alongam o ciclo da planta, superiores a 32°C acarretam um aumento significativo na taxa de fotorrespiração (ROSOLEM et al., 2006 citado por GALLO et al., 2002).

A fertilidade do solo, a incidência de pragas e o aparecimento de doenças são fatores controláveis que também interferem fortemente no desenvolvimento do algodoeiro. As pragas constituem um dos fatores limitantes para a exploração e produção do algodão se não forem tomadas as medidas eficientes de controle. Outros fatores são as doenças causadas por fungos e bactérias. Estas doenças podem ocasionar perdas consideráveis à produção de algodão, se não forem tratadas em tempo hábil (EMBRAPA, 2008).

Dentre as pragas que atacam o algodão, destacam-se (GALLO et al., 2002):

- a) o bicudo (*Anthonomus grandis*);
- b) as brocas (*Eutinobothrus brasiliensis* e *Conotrachellus denieri*);
- c) a lagarta rosca (*Agrotis spp.*);
- d) o curuquerê (*Alabama argillacea*);
- e) o tripses (*Frankliniella spp.*);
- f) o percevejo de renda (*Gargaphia torresi*);
- g) a lagarta-das-maçãs (*Heliothis virescens*);
- h) as lagartas do gênero Spodoptera (*S.frugiperda* e *S. eridania*);
- i) a lagarta rosada (*Pectinophora gossypiella*);

- j) os ácaros (*Tetranychus urticae*, *Polyphagotarsonemus latus*, *Tetranychus ludeni*);
- k) os percevejos (*Horcias nobilellus* e *Dysdercus spp.*);
- l) a mosca branca (*Bemisia tabaci*);
- m) os pulgões (*Aphis gossypii* e *Myzus persicae*).
- n) percevejo-castanho (*Scaptocoris castanea*; *Atarsocoris brachiariae*)

3.2.1 Importância econômica do pulgão *Aphis gossypii*

Com a evolução da produtividade agrícola, novas cultivares de algodoeiro estão sendo plantadas. No entanto, as pragas ainda constituem os maiores entraves para satisfazer essa necessidade; uma delas é o pulgão do algodoeiro. O *Aphis gossypii*, também conhecido por piolho-do-algodão (pulgão-do-algodão ou afídeo-do-algodão) é um inseto da família Aphididae, ordem Hemiptera, que coloniza malvacea, como o algodoeiro, bem como algumas cucurbitáceas, como o melão, além de atacar também os citrinos (que tem a cor da cidra ou do limão).

É uma espécie polífaga (alimenta-se em diversas espécies de plantas hospedeiras) e ubíqua (que está ao mesmo tempo em toda parte). Constitui uma praga de importância na agricultura devido ao melado (*honeydew*) que produz, e que atrai as formigas doceiras, além de proporcionar o desenvolvimento do fungo *Capinodium spp.*, causador da fumagina (BUENO,2005).

Os afídeos estão entre os insetos-praga que causam maiores danos às plantas cultivadas, tanto em ambientes protegidos quanto em cultivos no campo. Ao sugar a seiva das plantas, os pulgões produzem encarquilhamento das folhas e deformação dos brotos, prejudicando o seu desenvolvimento.

Além disso, nos cultivares considerados mais produtivos e com melhor qualidade de fibras, podem introduzir vírus como os causadores do "azulão",

reduzindo seriamente a produtividade. Culturas atacadas por grandes populações de afideos sofrem perdas diretas na sua produção, podendo atingir totalmente a cultura (ILHARCO, 1992).

3.2.2 Biologia e aspectos comportamentais do pulgão *Aphis gossypii*

Em regiões de clima temperado, nas épocas mais frias e de alimentos escassos, a reprodução predominante dos afideos é sexuada. Já em regiões de clima tropical, como no Brasil, a reprodução se dá de forma assexuada (partenogenética telítoca). Na reprodução sexuada, as fêmeas são fecundadas antes de se reproduzirem, originando descendentes com ciclo de vida holocíclico (completo).

Na reprodução assexuada (Figura 2), as fêmeas procriam sem terem sido fecundadas, dando origem apenas a descendentes fêmeas geneticamente iguais as suas mães, conhecidas como clones, e com ciclo de vida anolocíclico (incompleto) (ILHARCO, 1992). Os afideos anolocíclicos apresentam um ciclo biológico composto de duas fases: ninfal e adulta (Figura 3). A fase ninfal apresenta 4 ínstars antes de se tornarem adultas.

O pulgão *Aphis gossypii* apresenta alta capacidade de reprodução, uma vez que esta reprodução pode estar associada a outros fatores, tais como alimento e ambiente. O pulgão áptero (sem asas) é capaz de gerar indivíduos ápteros e alados (com asas), já o indivíduo alado somente produz indivíduos ápteros.

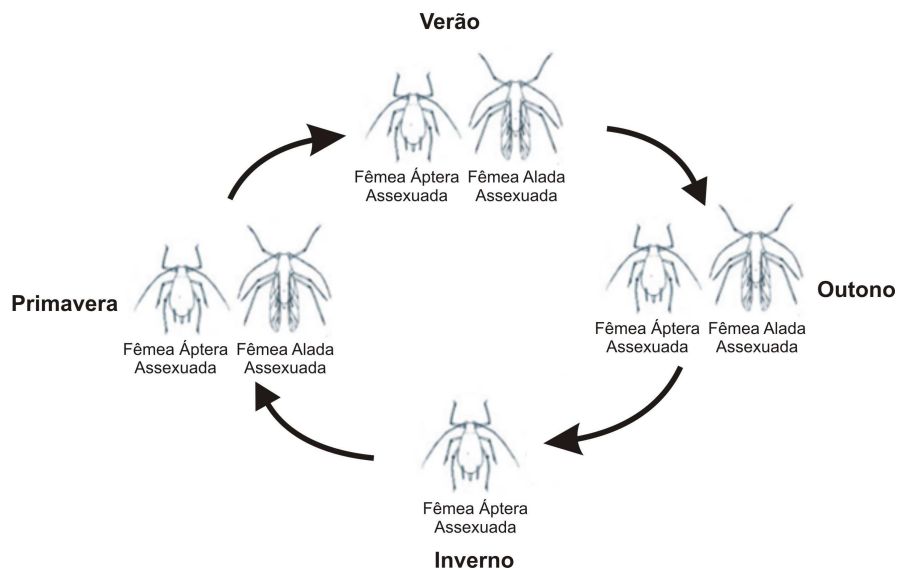


Figura 2 Esquema do ciclo de vida anolócico (incompleto) de pulgões
Fonte: Souza (2008)

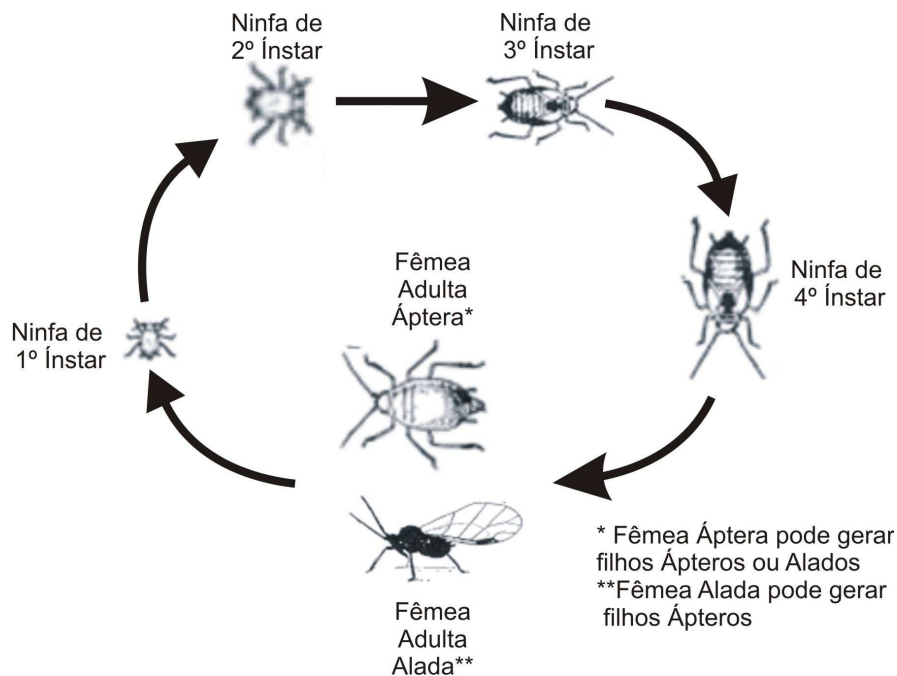


Figura 3 Esquema do ciclo de vida dos afídeos anolóclicos
 Fonte: Souza (2008)

Isso ocorre, porque o indivíduo áptero, ao sentir que o ambiente em que ele se encontra já não está proveitoso, gerará um indivíduo que é capaz de desenvolver asas, ou seja, que tem asas, para que este encontre um ambiente melhor (Figura 4).

No início da formação das colônias, os indivíduos são ápteros (Figura 5) e, posteriormente, devido ao elevado número de indivíduos, declínio da qualidade nutricional das plantas hospedeiras ou mudanças climáticas sazonais, os afídeos liberam um feromônio de alarme que induz a formação de indivíduos alados (Figura 6) (BUENO, 2005). A presença de inimigos naturais (parasitóides e predadores) é outro fator que induz a formação de alados. Isso pode ser

considerado como mecanismo de defesa, pois pulgões alados são estrategicamente capazes de manter a sobrevivência dos seus descendentes, escapando pelo vôo e colonizando outras plantas hospedeiras (PEREIRA; LOMÔNACO, 2003). Podem, ainda, ser levados pelo vento com facilidade, e dessa forma, são capazes de migrar grandes distâncias, chegando até a 1.300 km (DIXON, 1987). No entanto, a produção de formas aladas em afideos e sua dispersão demandam custos em termos de sobrevivência e fecundidade, pois o migrante investirá parte dos recursos energéticos e do tempo para o seu deslocamento (PEREIRA; LOMÔNACO, 2003).



Figura 4 *Aphis gossypii* áptero na fase de ninfa
Fonte: Souza (2008)



Figura 5 *Aphis gossypii* áptero na fase adulta
Fonte: Souza (2008)



Figura 6 *Aphis gossypii* na sua forma alada
Fonte: Souza (2008)

A temperatura é um fator que afeta o desenvolvimento dos insetos (XIA et al.,1999), uma vez que estes são incapazes de manter a temperatura corporal constante, e cada espécie apresenta um requerimento térmico diferente. Em geral, o tempo médio de desenvolvimento desses organismos decresce com o aumento da temperatura dentro da amplitude térmica requerida para a sobrevivência de cada espécie. A influência da temperatura vai além, ela condiciona o tamanho das populações ocasionando mudanças em sua ocorrência sazonal e dinâmica populacional (SOGLIA; BUENO; SAMPAIO, 2002).

Nas Tabelas 1 e 2 são representados os valores de alguns parâmetros biológicos de *Aphis gossypii* sobre o algodoeiro *Gossypium hirsutum* L. em diferentes temperaturas, obtidos através de experimentos conduzidos em laboratório segundo Xia et al. (1999).

Tabela 1 Duração do estágio ninfal (α), período pré-reprodutivo (β), longevidade (L), em dias, fecundidade total por fêmea (B) e fecundidade diária por fêmea (b) de *Aphis gossypii* Glover em *Gossypium hirsutum* L. em diferentes temperaturas (médias \pm semi-amplitude do intervalo de confiança 95%)

$\theta^{\circ}\text{C}$	α	β	L	B	b
10	23,00 \pm 1,76	3,20 \pm 0,55	53,40 \pm 7,06	6,10 \pm 1,69	0,40 \pm 0,27
15	13,00 \pm 1,00	2,40 \pm 0,47	38,40 \pm 4,90	21,40 \pm 2,50	1,20 \pm 0,20
20	8,50 \pm 0,39	1,00 \pm 0,20	24,20 \pm 2,94	24,60 \pm 2,00	2,20 \pm 0,24
25	5,00 \pm 0,20	0,60 \pm 0,08	15,80 \pm 1,96	28,30 \pm 2,50	3,10 \pm 0,25
30	4,60 \pm 0,18	0,60 \pm 0,12	12,00 \pm 1,37	14,60 \pm 1,40	2,70 \pm 0,39
35	5,40 \pm 0,39	0,90 \pm 0,20	10,20 \pm 0,78	4,00 \pm 0,35	1,70 \pm 0,41

Fonte: Xia et al. (1999)

Tabela 2 Taxa de crescimento intrínseca (r_m) e duração em dias de uma geração (τ) de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. em diferentes temperaturas

$\theta^\circ\text{C}$	r_m	τ
10	0,03	28,90
15	0,14	18,50
20	0,25	11,40
25	0,39	8,30
30	0,36	6,40
35	0,09	7,60

Fonte: Xia et al. (1999)

3.3 Controle de pragas

Um controle químico das pragas que infestam as plantas cultivadas pode ser feito por meio de defensivos agrícolas. Estes defensivos possuem alta e rápida eficiência, contudo são necessárias várias aplicações desses produtos, o que representa grandes quantidades lançadas no ambiente e um alto custo. Esses produtos químicos propiciam uma alta produtividade, mas têm efeitos negativos sobre o solo, o clima, a vegetação, as águas, os animais e o homem, provocando a seleção de mutantes resistentes, resultantes da forte pressão seletiva. Ao contrário do controle químico, o controle biológico é um fenômeno que acontece espontaneamente na natureza e consiste na regulação do número de plantas e animais por inimigos naturais. É uma estratégia que o homem vem utilizando há muito tempo para o controle de patógenos, pragas e ervas daninhas (GALLO et al., 2002).

Ao comparar o controle químico com o controle biológico pode-se citar algumas vantagens e desvantagens. Entre as vantagens tem-se para um controle biológico a caracterização de que é uma medida atóxica, não provoca desequilíbrio, não possui contraindicações, propicia um controle mais extenso e é eficiente quando não existe maneira de se utilizar o controle químico. Dentre as desvantagens tem-se uma exigência maior em tecnologia, possui um efeito mais lento, não é de tão fácil aquisição, nem sempre pode ser aplicado em qualquer época do ano (GALLO et al., 2002).

A seguir serão descritos alguns tipos de controle biológico. Estes são:

a) Controle biológico clássico

Importação e colonização de parasitóides ou predadores, visando o controle de pragas exóticas (eventualmente nativas). De maneira geral, as liberações são realizadas com um pequeno número de insetos por uma ou mais vezes em um mesmo local. Neste caso o controle biológico é visto como uma medida de controle em longo prazo, pois a população dos inimigos naturais tende a aumentar com o passar do tempo e, portanto, somente se aplica a culturas semiperenes ou perenes (GALLO et al., 2002).

b) Controle biológico natural

Refere-se à população de inimigos que ocorrem naturalmente. São muito importantes em programas de manejo de pragas, pois são responsáveis pela mortalidade natural no agroecossistema e, conseqüentemente, pela manutenção de um nível de equilíbrio das pragas (GALLO et al., 2002).

c) Controle biológico aplicado

Trata-se de liberações inundativas de parasitóides ou predadores, após criação massal em laboratório. Esse tipo de controle biológico é bem aceito pelo usuário, pois tem um tipo de ação rápida, muito semelhante à de inseticidas convencionais (GALLO et al., 2002).

3.4 Controle biológico do *Aphis gossypii* pelo parasitóide *Lysiphlebus testaceipes*

Os parasitóides da família Aphidiidae (Hymenoptera) são os inimigos naturais mais usados como agente de controle biológico dos pulgões. De acordo com Rodrigues (2003), estes insetos apresentam características essenciais tais como: alta capacidade reprodutiva, curto tempo de geração, boa capacidade de dispersão e um ciclo de vida bem sincronizado com os seus afídeos hospedeiros, daí essas características o tornaram um efetivo inimigo natural dos afídeos.

Na família Aphidiidae, a espécie *Lysiphlebus testaceipes* (Figura 7) destaca-se por ser um agente de controle biológico promissor para diferentes espécies de pulgões, entre eles: o *Aphis gossypii*. esse afídeo parasita todos os estágios de desenvolvimento dos pulgões, exceto ovos, e sendo os alados menos atacados (HAGEN; BOSCH, 1968 citado por RODRIGUES, 2003).



Figura 7 Adultos do parasitóide *Lysiphlebus testaceipes*. Fêmea (acima) e macho (abaixo)

Fonte: Souza (2008)

A espécie *Lysiphlebus testaceipes* é conhecida como um endoparasitóide solitário de afídeos, uma vez que apenas uma larva se desenvolve dentro de cada hospedeiro (BUENO, 2005). Esse parasitismo é feito através da fêmea do parasitóide, que encontra e avalia o hospedeiro (Figura 8) no qual deposita seu ovo. A larva passa por quatro instares no interior do afídeo; nos três primeiros se alimenta de substâncias líquidas e no último, se alimenta dos tecidos do hospedeiro.

Neste estágio, a larva abre uma fenda na cutícula do afídeo aderindo-o, por meio de uma seda, à superfície onde ele se encontra. Ainda neste instar, tece um casulo dentro do afídeo e se transforma em pupa. Dada a aparência, o pulgão parasitado passará a ser chamado múmia. O adulto sai desta múmia cortando um orifício circular no ápice do abdômen do pulgão mumificado. Os adultos dispersam-se por vôo ou caminhando pelas plantas que estejam próximas (BUENO, 2005).

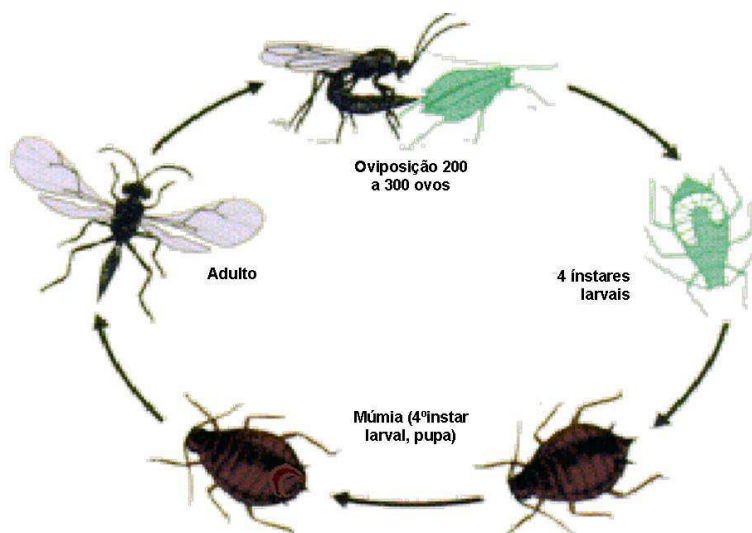


Figura 8 Esquema do ciclo de vida do parasitóide *Lysiphlebus testaceipes*
Fonte: Souza (2008)

Após a emergência, a oviposição ocorre independentemente da fêmea em um afídeo estar acasalada ou alimentada. A reprodução é geralmente biparental: ovos fertilizados dão origem a fêmeas e não fertilizados, a machos (CARNEVALE, 2002).

De acordo com Steenis (1995), uma fêmea de *Lysiphlebus testaceipes* coloca de 200 a 300 ovos durante sua vida (um ovo por hospedeiro) e sua longevidade é 2,6 dias. A única função do macho, no que se refere à reprodução, é o acasalamento.

De acordo com Starý (1998), o parasitóide adulto tem vida livre, isto é, não é parasita e um de seus principais alimentos do adulto é o "honeydew" excretado pelos pulgões, que é rico em carboidratos e proteínas. A temperatura é um dos fatores abióticos que compõem o clima de um determinado lugar. Quando se deseja que um inimigo natural se estabeleça e seja efetivo em uma certa área, o conhecimento deste fator ecológico é importante (RODRIGUES, 2003).

Na Tabela 3 estão apresentadas as informações necessárias relacionadas ao parasitismo de *Lysiphlebus testaceipes* no hospedeiro *Aphis gossypii*, à temperatura de 25°C.

Tabela 3 Porcentagens de parasitismo e emergência, razão sexual, períodos (em dias) da oviposição à formação da múmia, oviposição à Emergência do adulto e longevidade (em dias) de *Lysiphlebus testaceipes* no hospedeiro *Aphis gossypii*, à temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%)

Porcentagem de parasitismo	$44,20 \pm 4,48$
Porcentagem de emergência	$92,60 \pm 2,80$
Razão sexual	$0,70 \pm 0,03$
Período oviposição-múmia	$6,50 \pm 0,13$
Período oviposição-adulto	$8,80 \pm 0,21$
Longevidade	$5,50 \pm 0,20$

Fonte: Carnevale et al. (2003)

3.5 Modelagem

A modelagem computacional é uma área de conhecimento multidisciplinar que trata da aplicação de modelos matemáticos à análise e compreensão de problemas complexos em áreas abrangentes tais como: engenharias, ciências exatas, biologia, ciências humanas, economia e ciências ambientais. É uma ferramenta importante no estudo de padrões de comportamento dinâmico em populações, contudo os padrões ecológicos que refletem tendências de oscilação populacional muitas vezes não são claramente visíveis sem instrumentos analíticos (MICHAEL, 1990).

A modelagem, através da simulação computacional, é utilizada nas mais variadas situações, no intuito de descrever o comportamento dinâmico de um sistema durante um período de tempo. Essa metodologia constrói formas de quantificar o comportamento observado, prevendo o comportamento futuro. A proposta da simulação é produzir dados que, quando analisados, identificarão

importantes aspectos do sistema estudado, auxiliando na explicação e na compreensão do mesmo (LAW; KELTON, 2000).

A integração de métodos teóricos e computacionais têm desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento de modelos epidemiológicos e da dinâmica de populações. Dessa forma, a modelagem torna-se valiosa na descrição de processos demográficos importantes para a dinâmica populacional.

Os modelos matemáticos e computacionais, além de tornarem possível a visualização de padrões ecológicos, podem também revelar padrões de persistência populacional nos diversos sistemas, incluindo as relações presa-predador ou hospedeiro-parasitóide, interações sempre presentes em programas de manejo integrado de pragas (MICHAEL, 1990).

3.6 Modelos para dinâmica de população com idade estruturada

É possível encontrar na literatura científica diferentes modelos para o estudo da dinâmica temporal de populações com estrutura etária. Dentre eles, pode-se citar o de Partridge e Barton (1993), o de Heumann e Hotzel (1995 citado por MEDEIROS, 2001) e o modelo Penna (1995). O modelo Penna apresenta algumas vantagens em relação aos outros. Além da facilidade de implementação, com este modelo é possível obter populações com estruturas etárias estáveis, mesmo quando considerado um grande número de idades. Isto não ocorre com o modelo de Heumann e Hotzel e, muito menos com o de Partridge e Barton, uma vez que, neste último caso, apenas três idades são permitidas. Segundo Medeiros (2001), o modelo de Heumann e Hotzel consegue sustentar uma estrutura etária com no máximo 18 idades. Estas características tornaram o modelo Penna amplamente utilizado para tratar diferentes aspectos referentes ao envelhecimento biológico. A seguir será feita uma breve descrição

dos dois primeiros modelos, e uma descrição mais detalhada do modelo Penna, por tratar-se do modelo utilizado neste trabalho.

3.6.1 O Modelo de Partridge e Barton – (PB)

O modelo de Partridge e Barton (PARTRIDGE; BARTON, 1993) é um modelo evolucionário simples para envelhecimento biológico. Trata populações estruturadas nas idades constituídas por três tipos de indivíduos: bebês com idade 0, jovens com idade 1 e adultos com idade 2. Esse modelo leva a um crescimento exponencial da população (crescimento Malthusiano) ao longo do tempo na forma $\exp(rt)$ onde r é taxa de crescimento populacional que é interpretada como o valor adaptativo da população.

O modelo Partridge e Barton tem sido estudado usando as técnicas de simulação Monte Carlo. Os primeiros trabalhos nesta linha foram realizados por Stauffer (1994), que reproduziu o envelhecimento tanto na presença quanto na ausência de mutações deletérias.

3.6.2 O Modelo de Heumann e Hotzel – (HH)

Já Heumann e Hotzel (1995) propuseram uma generalização do modelo Partridge e Barton. Esse modelo trata com populações cujos indivíduos têm idades $0, 1, 2, \dots, k$ onde $k > 2$. Ao contrário do modelo PB, onde cada indivíduo é representado por um número real entre 0 e 2, agora cada um dos elementos (j 's) deste conjunto corresponde à sobrevivência na idade i ($i=0, 1, 2, \dots, k-1$). Este conjunto de probabilidades de sobrevivência pode ser interpretado como o genoma do indivíduo no qual está guardada toda a informação genética que determinará a sua sobrevivência e sucesso reprodutivo em cada fase da vida. No modelo Heumann e Hotzel, durante a evolução temporal, os indivíduos nascem,

reproduzem-se, tornam-se mais velhos e morrem. Cada passo temporal corresponde a uma geração, na qual a probabilidade de sobrevivência correspondente à idade i será assim determinada pelo elemento j_i do conjunto de probabilidades (ou genoma).

A reprodução acontece a partir da idade $i=1$ quando, então, novos indivíduos são introduzidos na população. A reprodução é implementada transferindo-se completamente o genoma do pai para os filhos. Uma vez que neste modelo as mutações são hereditárias, as alterações sofridas no genoma do pai são transferidas para os filhos durante a reprodução.

O modelo leva em conta as restrições ambientais através do fator de Verhulst de limitação populacional $f_v(t) = (1-N(t)/N_{max})$, onde $N(t)$ é a população total em cada instante t e N_{max} a capacidade ambiental máxima. No modelo HH, o fator Verhulst é incorporado multiplicando-o pela probabilidade de sobrevivência de todos os indivíduos no instante t . Dessa maneira, quando a população se aproxima do limite N_{max} , indivíduos de qualquer idade podem ser eliminados.

3.6.3 Modelo Penna

O modelo Penna, também conhecido como modelo de "*Bit-String*", foi proposto, em 1995, por T. J. P. Penna. Este modelo fundamenta-se na teoria da seleção natural de Darwin para evolução das espécies e na teoria do acúmulo de mutações, sendo essa última uma teoria evolucionária criada pelo biólogo Peter B. Medawar (ROSE, 1991). Segundo essa teoria, o mecanismo de envelhecimento é o acúmulo de mutações deletérias durante o balanço mutação-seleção. Este acúmulo se deve à diminuição da força de seleção para remover alelos danosos da população. Genes deletérios que só se expressam tardiamente na vida, após terminado o período reprodutivo, escapam da seleção natural por já

terem sido transmitidos às gerações seguintes, acumulando-se na população e comprometendo a sobrevivência nas idades avançadas (MEDEIROS, 2001).

A facilidade de implementação do modelo Penna se deve ao fato de que cada indivíduo da população é representado por palavras computacionais cujos *bits* são preenchidos por variáveis binárias setadas com valores 1 ou 0, o que possibilita armazenar informação de forma simples e compacta, não sendo necessário muito espaço de memória. Além disso, permite manipular, *bit a bit*, por meio de operações lógicas (AND, OR e XOR), como ilustrado na Tabela 4 para o caso particular de dois *bits*. Dessa forma, é possível simular populações com milhões de indivíduos, de forma simples e rápida, cujos tamanhos podem ser comparados aos de populações reais.

O método de Monte Carlo consiste na substituição do estudo de um processo físico ou matemático por um modelo probabilístico que possa tratar problemas determinísticos por meio de amostras aleatórias ou por meio de números pseudoaleatórios gerados por um computador (ESCUADERO, 1973).

Tabela 4 Operações binárias AND, OR e XOR. A primeira coluna representa os valores possíveis de dois *bits*, e nas demais colunas, após a respectiva operação lógica

<i>bit</i>	AND	OR	XOR
00	0	0	0
01	0	1	1
10	0	1	1
11	1	1	0

As simulações de Monte Carlo para o modelo Penna são realizadas, comumente, tomando-se uma população inicial de N_0 indivíduos com idade zero no instante $t = 0$. Existem pelo menos duas estratégias para determinar os "genótipos" dos indivíduos da população inicial. Na primeira, os "genótipos" são livres de mutação, ou seja, possuem todos os *bits* setados em 0 e, na segunda, os "genótipos" são gerados aleatoriamente. Para ambas as estratégias, os resultados são qualitativamente os mesmos (MEDEIROS, 2001).

Vários estudos relativos à teoria evolutiva foram bem explicados pelo modelo Penna. Atualmente, encontram-se na literatura inúmeros trabalhos baseados no modelo, nos quais vários aspectos são investigados, tais como dinâmica populacional de praga e sua interação com o inimigo natural (SOUZA; MARTINS; ZACARIAS, 2009), dinâmica populacional de praga (GIAROLA; MARTINS; COSTA, 2006; OLIVEIRA; MARTINS; ZACARIAS, 2008), estudo de microevolução na população de cabras das Ram Mountain (BRIGATTI; SÁ MARTINS; RODITI, 2005), regulamentação da pesca de lagosta (PENNA; RACCO; SOUZA, 2001), simulação da reprodução cíclica assexuada-sexuada (MARTINS; RACCO, 2001), desaparecimento do bacalhau do norte devido a sobrepesca (MOSS; PENNA, 1995) e senescência catastrófica do salmão do Pacífico (PENNA; MOSS; OLIVEIRA, 1995). Outras aplicações podem ser encontradas em Oliveira, Oliveira e Stauffer (1999).

Embora o modelo Penna tenha sido idealizado para a implementação em computadores, alguns estudos analíticos já foram realizados por Brigatti, Martins e Roditi (2004), Coe e Mao (2004) e Pizza (1997). O modelo Penna descreve a evolução temporal de uma população $N(t)$ indivíduos, a partir de algumas regras evolutivas. Na versão assexuada do modelo Penna, cada indivíduo de uma população de tamanho $N(t)$, sendo t uma etapa temporal, é representado por uma palavra computacional de A *bits*, a qual é interpretada

como o seu "genótipo". Esta palavra contém informações de quando o efeito de uma mutação deletéria (manifestação de uma doença naquela idade) estará presente (*bit* setado em 1) ou não (*bit* setado em zero), durante a vida do indivíduo. É assumido que cada *bit* corresponde a uma idade (hora, dia, mês, ano, etc.) do indivíduo e que o mesmo poderá sobreviver, no máximo, até a idade $A-1$ (máxima expectativa de vida). Assim, a idade é uma variável discreta que varia de 0 até $A-1$. Se, na idade i da vida do indivíduo, o i -ésimo *bit* no "genótipo" for 1, ele sofrerá os efeitos de uma mutação deletéria naquela e em todas as idades seguintes da sua vida.

A seleção natural é regulada pelo parâmetro T , o que significa que o número de doenças acumuladas até a idade atual deve ser menor que o limiar T . Caso contrário, o indivíduo poderá morrer. Esse limite de doença é o mesmo para toda a população. Como ilustração, é representado o "genótipo" de um indivíduo representado por uma palavra computacional de 32 *bits* (Figura 9). Nesse caso, ele poderá sobreviver, no máximo, até a idade 31. Nas idades 1, 3, 5 e 7, o *bit* está setado em 1 e, conseqüentemente, ele sofre o efeito da mutação deletéria nessas idades e em todas as seguintes. Adotando-se, por exemplo, $T = 3$, esse indivíduo morrerá na idade 5, pois, nessa idade ele atingiu o seu limite de mutações deletérias.

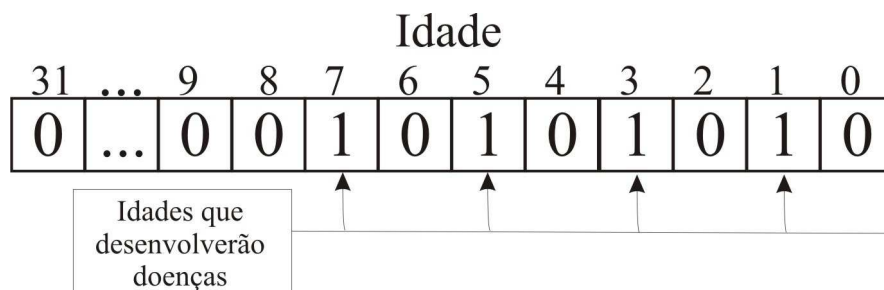


Figura 9 "Genótipo" do indivíduo, representado por uma palavra computacional de 32 *bits*. Os *bits* setados em 1 representam mutações deletérias e os *bits* setados em 0 ausência de mutações

Quando o indivíduo (que são considerados fêmeas) atinge a idade mínima de reprodução, RM , ele poderá gerar b filhas em cada instante t , com dada probabilidade a cada idade adicional. Para obter o "genótipo" da filha, é feita uma cópia do "genótipo" da mãe, no qual é inserido um número M de mutações deletérias em diferentes *bits* escolhidos aleatoriamente. Se um *bit*, dentre os M escolhidos, for zero no "genótipo" da mãe, ele passará a ser 1 no "genótipo" da filha. Por outro lado, se for 1 no "genótipo" da mãe, ele permanecerá 1 no "genótipo" da filha. Dessa forma, o "genótipo" da filha, na melhor das hipóteses, será igual ao "genótipo" da mãe (Figura 10).

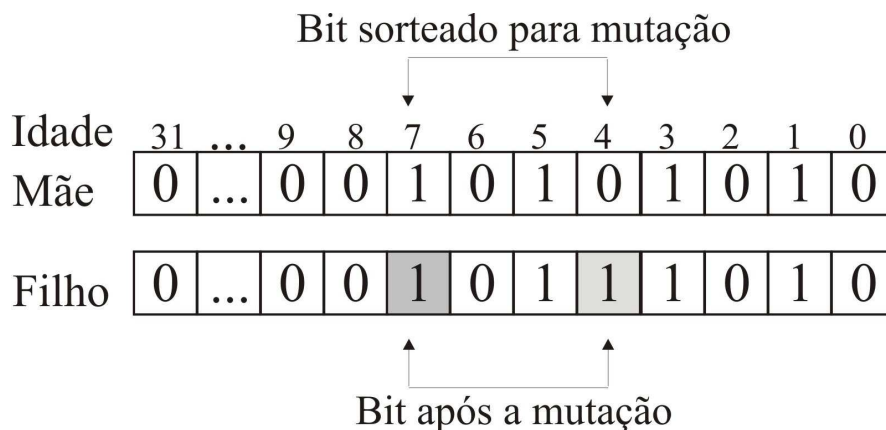


Figura 10 Obtenção do "genótipo" da filha, em que foram escolhidos, aleatoriamente, os *bits* 4 e 7, para inserir as mutações deletérias

Mesmo permitindo apenas mutações ruins, a população que se obtém com a dinâmica até aqui descrita cresce exponencialmente, pois não existe competição entre os indivíduos. Para manter o tamanho populacional dentro dos limites de memória computacional, bem como modelar as restrições ambientais, tais como espaço e alimento, é incluído o fator de Verhulst. A cada etapa temporal t , o indivíduo cujo número de mutações deletérias até a idade atual é menor que o limiar T irá sobreviver com probabilidade dada por:

$$P(t) = 1 - \frac{N(t)}{N_{\max}} \quad (1)$$

sendo $N(t)$ o tamanho da população no tempo t e N_{\max} o número máximo de indivíduos que o ambiente suporta, devido às restrições de espaço e alimento.

O fator de Verhulst será sempre um número real entre 0 e 1. Nos instantes em que a população total for alta, o fator de Verhulst será alto e

incidirá fortemente na população, diminuindo sua probabilidade de sobrevivência e matando grande parte da população, independente do seu genótipo. Dessa forma, para cada indivíduo e em cada instante, compara-se $P(t)$ com um número randômico entre 0 e 1. Se o número sorteado for menor que $P(t)$, o indivíduo morre, independente da idade ou do genótipo; caso contrário, o indivíduo sobrevive. Depois de todos os indivíduos terem sido testados para reprodução e morte, uma etapa temporal é concluída.

Resumindo, o modelo Penna trabalha com os seguintes parâmetros:

- a) $N(0) = N_0$: tamanho inicial da população;
- b) N_{max} : capacidade de carga do ambiente;
- c) M : número de mutações;
- d) T : limite de mutações deletérias;
- e) RM : idade mínima para reprodução;
- f) b : número de filhas, por indivíduo, a cada reprodução.

4 METODOLOGIA

4.1 Modelo Penna adaptado à biologia de *Aphis gossypii* com inclusão de formas aladas e parasitismo

Considerando que em regiões tropicais os pulgões se reproduzem por partenogênese, Giarola (2005) e Souza (2008) fizeram algumas adaptações ao modelo Penna com o objetivo de estudar a dinâmica temporal de *Aphis gossypii* em diferentes temperaturas e cultivares de crisântemo. No trabalho de Giarola (2005) foi considerado na dinâmica uma população constituída apenas de formas ápteras. Já no trabalho de Souza (2008), além de se considerar a presença de formas ápteras e aladas, o parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes* também foi considerado na dinâmica. Nesta seção será descrita a dinâmica proposta por Souza (2008).

A população foi constituída inicialmente de N_0 fêmeas ápteras, cujos genótipos foram representados por duas palavras computacionais de 64 *bits* (um *bit* corresponde a um dia da vida do pulgão). Além da idade mínima de reprodução (RM), ou seja, período ninfal mais o período pré-reprodutivo, foi considerado também uma idade máxima de reprodução (RX), que corresponde a soma de RM com o período reprodutivo do pulgão. Em outras palavras, tendo atingido a idade RM, a fêmea gera b descendentes a cada idade adicional, até atingir a idade RX, com uma dada probabilidade.

Como a produção de formas aladas em colônias de pulgões apresenta um custo energético que é geralmente manifestado por queda na fecundidade ou aumento no período de desenvolvimento, considerou-se que a probabilidade de reprodução de fêmeas aladas δ_2 é menor que a de fêmeas ápteras δ_1 . Além disto, considerou-se que fêmeas aladas geram apenas descendentes ápteros com probabilidade δ_2 , enquanto que fêmeas ápteras geram descendentes ápteros com

probabilidade δ_1 ($1,0 - \varphi$) e alados com probabilidade $\delta_1\varphi$, sendo φ uma constante.

Uma vez que o parasitóide *Lysiphlebus testaceipes* é generalista, ou seja, parasita também outras espécies de pulgões (RODRIGUES et al., 2004), assumiu-se que a população de parasitóides não é regulada pela população de *Aphis gossypii*. Dessa forma, o parasitismo foi inserido na dinâmica por meio de probabilidade dada pela taxa de parasitismo e período de desenvolvimento de *Lysiphlebus testaceipes* até a formação da múmia (período necessário para a mumificação do pulgão). Como os pulgões alados são parasitados com baixa probabilidade, considerou-se apenas o parasitismo de formas ápteras. Portanto, cada fêmea parasitada com uma probabilidade dada pela taxa de parasitismo (ω), desde que não morra por acúmulo de mutações deletérias ou competição entre indivíduos (fator de Verhulst), certamente morrerá após o período necessário para a mumificação do pulgão (ν). O período de mumificação é contado a partir do momento em que a fêmea é parasitada.

Os parâmetros T , M , N_0 , N_{\max} , δ_1 , δ_2 , φ_1 , e φ_2 assumiram os mesmos valores em todas as simulações. Estes valores foram os seguintes:

- a) $N(0) = 10.000$ (tamanho inicial da população);
- b) $N_{\max} = 100.000$ (capacidade de carga do ambiente);
- c) $M=1$ (número de mutações deletérias);
- d) $T=1$ (limite de mutações deletérias);
- e) $\delta_1 = 1,0$ (taxa reprodutiva de ápteros);
- f) $\delta_2 = 0,3$ (taxa reprodutiva de alados);
- g) $\varphi = 0,124$ (probabilidade de gerar alados).

Os outros parâmetros, tais como: idade mínima de reprodução (RM), idade máxima de reprodução (RX), fecundidade diária (b), taxa de parasitismo

(ω) e período de mumificação (ν) assumiram valores diferentes em cada simulação, de acordo com os dados experimentais relativos à *Aphis gossypii* criado em cultivares de crisântemo e parasitado por *Lysiphlebus testaceipes*, relatados para cada temperatura (Tabela 1).

Após todos os indivíduos terem sido testados para reprodução, parasitismo (somente pulgões ápteros) e morte, a idade dos sobreviventes foi incrementada em um dia, concluindo-se assim, uma etapa temporal.

4.2 Dinâmica populacional de formas ápteras e aladas de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L.

A limitação de recursos, os processos migratórios dependentes da densidade e os inimigos naturais são os principais fatores de controle das populações de afídeos. Segundo Holst e Ruggle (1997), a limitação de recursos e a produção de formas aladas dependente da densidade restringem a população de afídeos no campo mais intensamente do que a ação de parasitóides. Desta forma, neste trabalho a dinâmica proposta por Souza (2008) foi aplicada à dinâmica temporal de formas ápteras e aladas de *A. gossypii* considerando o seu cultivo em *Gossypium hirsutum* L. e produção de alados dependente da densidade. Os passos seguidos foram os mesmos apresentados na seção anterior, exceto que neste caso, a probabilidade de gerar alados não foi considerada constante, e sim, dependente da densidade.

Dessa forma, a probabilidade de gerar alados em cada etapa temporal [$\varphi(t)$] foi definida pela seguinte equação:

$$\varphi(t) = \frac{N(t-1)}{N_{\max}} \quad (2)$$

Sendo $N(t - 1)$ o tamanho da população na etapa temporal $t - 1$ e N_{\max} , a capacidade de carga do ambiente.

Para a simulação da dinâmica temporal de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. foram consideradas duas situações: sem parasitismo e com parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes*. Na primeira situação considerou-se as temperaturas de 10, 15, 20, 25, 30 e 35°C e na segunda, considerou-se apenas a temperatura de 25°C, devido a falta de dados experimentais. Em ambas as situações, os parâmetros dependentes da temperatura assumiram valores de acordo com os dados experimentais representados nas Tabelas 1 e 3, os quais são demonstrados na Tabela 5:

Tabela 5 Idade mínima de reprodução (RM), idade máxima de reprodução (RX), período de mumificação (v), em dias, fecundidade diária (b) e taxa de parasitismo (ω) por *Lysiphlebus testaceipes* para o pulgão *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L.

$\theta(^{\circ}\text{C})$	RM	RX	v	b	ω
10	26	40	-	1	-
15	15	32	-	1	-
20	10	20	-	2	-
25	6	14	7	3	0,44
30	5	9	-	3	-
35	6	7	-	2	-

Já os parâmetros independentes da temperatura assumiram os seguintes valores:

- a) $N(0) = 10.000$ (tamanho inicial da população);
- b) $N_{\max} = 100.000$ (capacidade de carga do ambiente);
- c) $M=1$ (número de mutações deletérias);
- d) $T=1$ (limite de mutações deletérias);
- e) $\delta_1 = 1,0$ (taxa reprodutiva de ápteros);
- f) $\delta_2 = 0,3$ (taxa reprodutiva de alados);
- g) $\varphi = 0,0$ - quando a probabilidade de gerar alados é zero;
- h) $\varphi = \varphi(t)$ quando a probabilidade de gerar alados depende da densidade.

Em cada uma das simulações computacionais foram realizadas 150.000 etapas temporais (dias) sendo o período de estabilização da população de 100.000 etapas temporais (dias). O parasitismo, quando considerado, foi inserido na dinâmica em $t = 60.000$ e não foi retirado. Para cada uma delas foram obtidas as curvas de sobrevivência e foram calculados os valores médios do tamanho populacional, da taxa intrínseca de crescimento e da duração de uma geração. Para cálculo dos valores médios foram desprezadas as 100.000 etapas temporais iniciais. Para construir as curvas de sobrevivência calculou-se a taxa de sobrevivência para cada idade j , definida por (ODUM, 1988):

$$S_j = \frac{N_{j+1,t+1}}{N_{j,t}} \quad (3)$$

Sendo:

- a) S_j a taxa de sobrevivência dos indivíduos na idade j ;
- b) $N_{j+1,t+1}$ o número de indivíduos na idade $j+1$ na etapa temporal $t+1$;
- c) $N_{j,t}$ o número de indivíduos na idade j na etapa temporal t .

A taxa intrínseca de crescimento (r_m) em cada etapa temporal foi calculada pela seguinte equação (ODUM, 1988):

$$r_m(t) = \ln(\lambda(t)) \quad (4)$$

Sendo

$$\lambda(t) = \frac{N_{t+1}}{N_t \left[1 - \frac{N_t}{N_{\max}} \right]} \quad (5)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dinâmica temporal de *Aphis gossypii* criado sobre *Gossypium hirsutum* L. na ausência de parasitismo

A seguir são apresentados os resultados das simulações para a dinâmica populacional de *Aphis gossypii* criado sobre *Gossypium hirsutum* L. com ($\varphi=\varphi(t)$) e sem ($\varphi=0,0$) formação de alados.

5.1.1 Tamanho populacional

Na Tabela 6 estão apresentados os valores médios do tamanho populacional de *Aphis gossypii* em algodoeiro *Gossypium hirsutum* L. nas situações consideradas.

Com base em intervalos de confiança, pode-se observar que os valores médios do tamanho populacional não apresentam diferenças significativas nas temperaturas de 10 e 15°C quando comparadas as situações sem alado e com alado, dado que os intervalos de confiança encontrados nessas temperaturas se sobrepõem. Já nas temperaturas de 20, 25, 30 e 35° C os valores médios apresentam diferenças significativas, dada a não sobreposição dos intervalos de confiança para as mesmas.

Isto se deve ao aumento da competição entre indivíduos nas temperaturas mais altas que ocasiona um aumento na produção de formas aladas cujo potencial reprodutivo é muito menor que o de formas ápteras.

Tabela 6 Valor médio do tamanho populacional de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L., com [$\varphi=\varphi(t)$] e sem ($\varphi= 0,0$) a presença de alados em diferentes temperaturas (médias \pm semi-amplitude do intervalo de confiança 95%)

θ (°C)	$\varphi = 0,0$	$\varphi = \varphi(t)$
10	6747,75 \pm 228,42	6617,56 \pm 228,87
15	10601,10 \pm 205,74	10345,5 \pm 200,30
20	17595,20 \pm 271,65	16907,9 \pm 266,32
25	27165,20 \pm 295,31	25726,00 \pm 287,24
30	25101,9 \pm 333,34	23579,2 \pm 323,38
35	16267,00 \pm 268,56	15074,90 \pm 254,31

5.1.2 Curvas de Sobrevivência

O Gráfico 1 mostra as curvas de sobrevivência nas seis temperaturas estudadas. Pode-se observar que quanto maior a temperatura, menor é a longevidade dos afideos. Também pode-se observar que na temperatura de 25°C, a longevidade está contida no intervalo de confiança de acordo com a Tabela 1 que se encontra na página 27. As temperaturas de 10 e 35°C são as que apresentam os valores mais discrepantes para a longevidade, ou seja, muito distantes do intervalo de confiança para as mesmas.

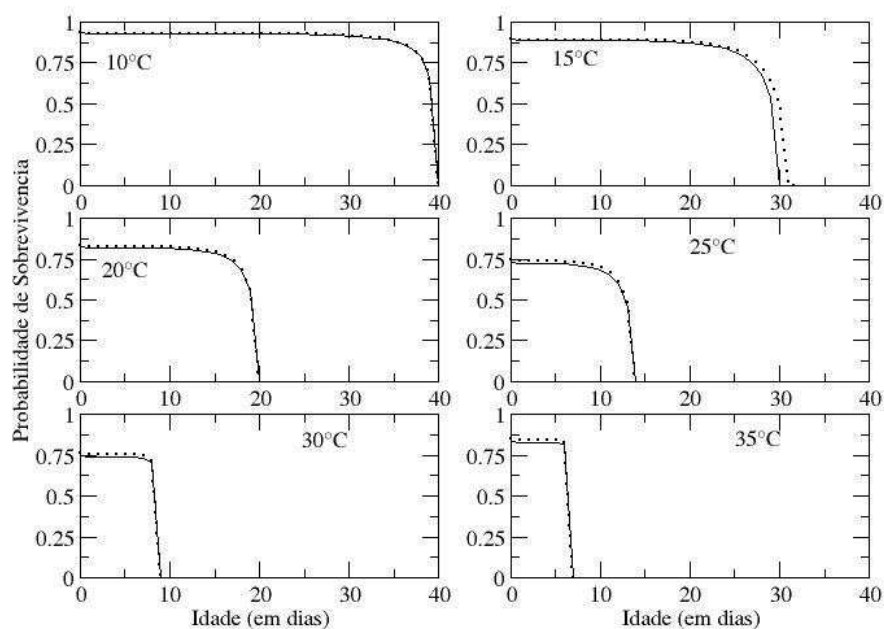


Gráfico 1 Curvas de sobrevivência do pulgão *Aphis gossypii* criado em *Gossypium hirsutum* L., com (linha pontilhada) e sem (linha contínua) a presença de alados em diferentes temperaturas

5.1.3 Taxa intrínseca de crescimento

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios da taxa intrínseca de crescimento de *Aphis gossypii* em algodoeiro *Gossypium hirsutum* L. nas situações consideradas. Pode-se observar que os valores médios da taxa intrínseca de crescimento apresentam diferenças significativas somente na temperatura de 25°C quando comparadas as situações sem alado e com alado.

Tabela 7 Valor médio da taxa intrínseca de crescimento de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L., com ($\varphi=\varphi(t)$) e sem ($\varphi=0,0$) a presença de alados em diferentes temperaturas (médias \pm semi-amplitude do intervalo de confiança 95%)

θ (°C)	$\varphi = 0,0$	$\varphi = \varphi(t)$
10	0,07 \pm 0,01	0,07 \pm 0,01
15	0,11 \pm 0,01	0,11 \pm 0,01
20	0,19 \pm 0,01	0,18 \pm 0,01
25	0,32 \pm 0,01	0,29 \pm 0,01
30	0,29 \pm 0,01	0,27 \pm 0,01
35	0,18 \pm 0,01	0,16 \pm 0,01

Isto pode ser relacionado ao fato de 25°C estar contida no intervalo de temperatura ótima para o desenvolvimento dos afídeos, intervalo este que de acordo com Gallo et al. (2002) varia de 22°C a 32°C. E ainda, em 25°C, os valores médios para o tamanho populacional de *Aphis gossypii* criado sobre *Gossypium hirsutum* L., foram significativos.

No Gráfico 2 estão apresentados os valores de r_m obtidos através das simulações e experimentalmente. Embora os valores obtidos nas simulações para a taxa intrínseca de crescimento sejam diferentes dos experimentais (Tabela 2), é possível observar uma semelhança entre o comportamento das curvas para a taxa intrínseca experimental e simulada nas diferentes temperaturas. Nas três curvas observa-se um aumento da taxa intrínseca de crescimento à medida em que a temperatura aumenta, no intervalo de 10 a 25°C. De 25 a 35°C a taxa intrínseca diminui com o aumento da temperatura. Observa-se também nas três curvas que a taxa de variação média de r_m em relação à temperatura é maior de 30 para

35°C, do que de 25 para 30°C, dado que temperaturas extremas afetam negativamente o desenvolvimento dos afídeos.

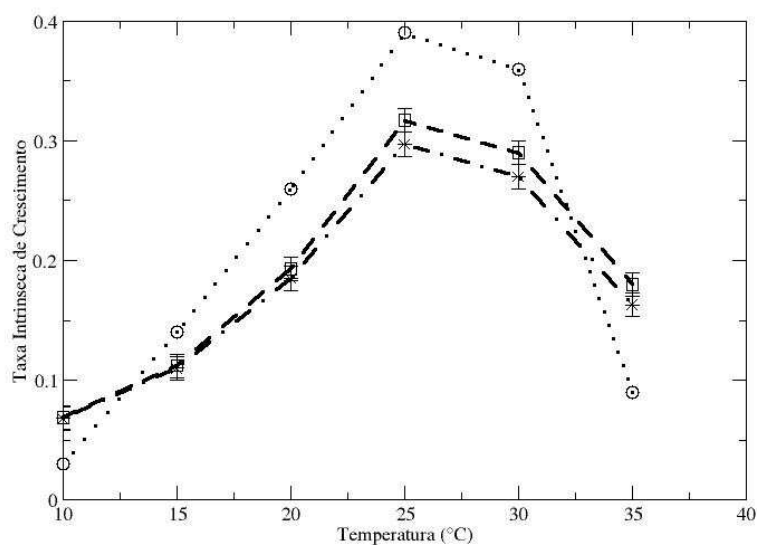


Gráfico 2 Valor médio da taxa intrínseca de crescimento (r_m) de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. r_m experimental (círculo); r_m simulado sem alado (quadrado) e r_m simulado com alado (estrela)

5.1.4 Duração de uma geração

Foram obtidas as durações (em dias) de uma geração dos afídeos nas diferentes temperaturas e situações. Os resultados estão apresentados na Tabela 8:

Tabela 8 Duração em dias de uma geração de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L., com ($\varphi=\varphi(t)$) e sem ($\varphi=0,0$) a presença de alados em diferentes temperaturas (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%)

θ (°C)	$\varphi = 0,0$	$\varphi = \varphi(t)$
10	32,62 \pm 0,14	32,96 \pm 0,16
15	21,58 \pm 0,06	21,66 \pm 0,10
20	14,19 \pm 0,06	14,34 \pm 0,08
25	9,13 \pm 0,02	9,22 \pm 0,02
30	7,34 \pm 0,01	7,38 \pm 0,02
35	7,46 \pm 0,01	7,46 \pm 0,01

Através dos intervalos de confiança pode-se afirmar que houve diferenças significativas nas temperaturas de 10, 20, 25 e 30°C quando comparadas as situações com e sem alados. Nessas temperaturas, observa-se uma leve redução na duração de uma geração dos afídeos quando a probabilidade de gerar alados está em função da densidade de afídeos.

No Gráfico 3 estão apresentadas as curvas de duração de uma geração em função da temperatura, obtidas a partir dos dados experimentais e simulados. Pode-se observar que as três curvas apresentam comportamento semelhante no intervalo de 10 a 35°C, ou seja, a duração de uma geração diminui à medida em que a temperatura aumenta.

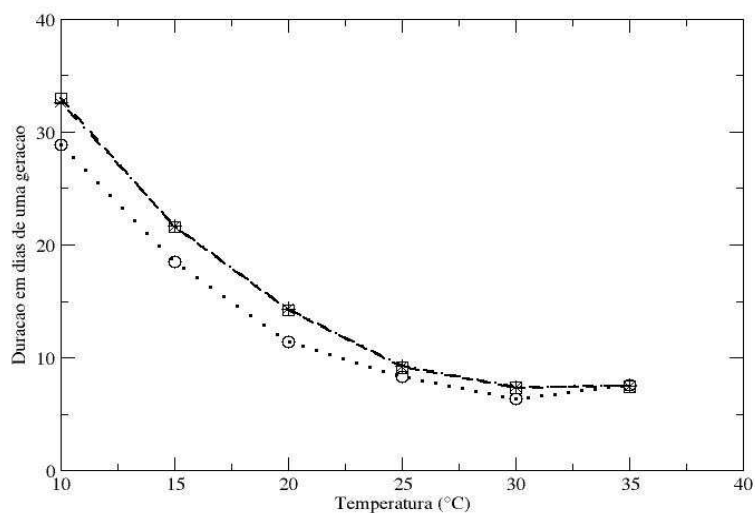


Gráfico 3 Duração em dias de uma geração de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. em diferentes temperaturas. Curva experimental (círculo); Curva simulada sem alado (quadrado) e curva simulada com alado (estrela)

No Gráfico 4 estão apresentadas as curvas de duração de uma geração em função da longevidade obtidas a partir dos dados experimentais e simulados. Em todas as situações apresentadas observa-se um aumento na duração de uma geração à medida que a longevidade aumenta, exceto no início das curvas no caso experimental.

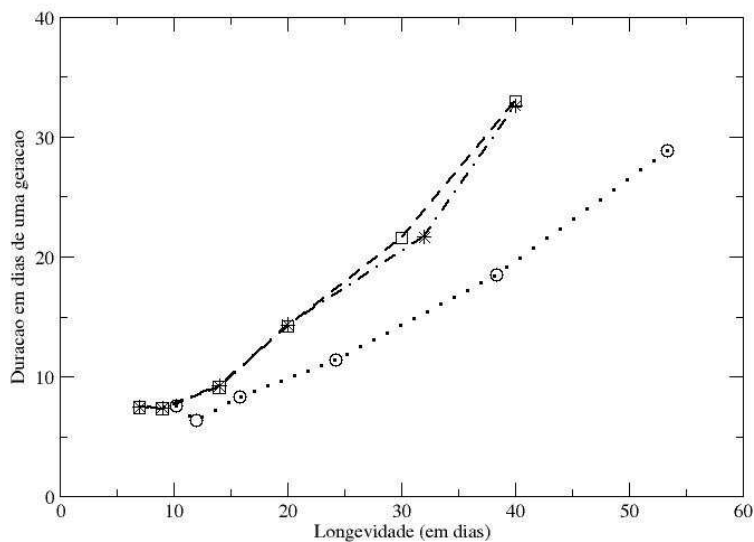


Gráfico 4 Duração de uma geração em função da longevidade de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L.: Curva experimental (círculo), curva simulada sem alados (quadrado) e curva simulada com alado (triângulo)

5.2 Dinâmica temporal de *Aphis gossypii* Glover criado sobre *Gossypium hirsutum* L. com parasitismo por *L. testaceipes*

As simulações seguem agora para o caso em que os afídeos sofrem parasitismo pelo *L. testaceipes*.

5.2.1 Tamanho populacional - ($\phi = 0,0$)

A evolução temporal do valor médio do tamanho da população de *Aphis gossypii* criado sobre *Gossypium hirsutum* L. sob a ação do parasitóide *Lysiphlebus testaceipes* a partir de $t = 60.000$ está apresentado na Tabela 9.

Pode-se verificar que houve uma redução de 25,30% na população quando submetida à ação do parasitóide.

Tabela 9 Valor médio do tamanho populacional de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. sem formação de alados ($\varphi=0,0$), sem e com parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes* (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%)

θ (°C)	Sem parasitismo	Com parasitismo	Redução (%)
25	27165,20 \pm 295,31	20291,30 \pm 303,49	25,30

5.2.2 Curvas de Sobrevivência – ($\varphi=0,0$)

No Gráfico 5 estão apresentadas as curvas de sobrevivência para o pulgão *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. sem formação de alados ($\varphi=0,0$), desprezando-se as 100.000 etapas temporais iniciais. A curva em preto se refere à população sem a ação do parasitóide, e a curva em vermelho se refere à população sob a ação do parasitóide a partir de $t = 60.000$. Pode-se verificar uma redução da longevidade devida a ação do parasitóide como observado por He et al. (2005).

Essa redução se dá ao fato do parasitóide selecionar para parasitar os indivíduos que possuem melhores "genótipos" eliminando assim dessa população os indivíduos que possuem maior fecundidade e longevidade.

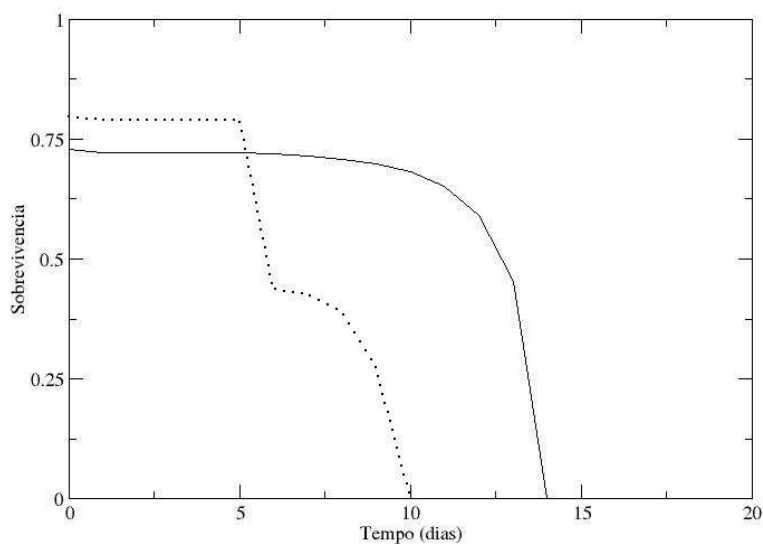


Gráfico 5 Curvas de sobrevivência de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. sem formação de alados: sem parasitismo (linha contínua) e com parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes* (linha pontilhada)

Ainda no Gráfico 5 é possível observar que no intervalo de 5 a 7 dias, há uma grande queda na probabilidade de sobrevivência dos indivíduos, quando estes estão sob ação do parasitismo. Isso ocorre mediante ao fator período de mumificação desses afídeos ser justamente de 7 dias.

5.2.3 Taxa intrínseca de crescimento – ($\varphi=0,0$)

Na Tabela 10 podem ser observados os valores médios da taxa intrínseca de crescimento de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. sem formação de alados ($\varphi=0,0$). Pode-se verificar que com a ação do parasitismo a taxa intrínseca de crescimento da população sofre uma redução de 28,1%.

Tabela 10 Valor médio da taxa intrínseca de crescimento de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. sem formação de alados ($\varphi=0,0$), sem e com parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes* (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%)

θ (°C)	Sem parasitismo	Com parasitismo	Redução (%)
25	0,32 \pm 0,01	0,23 \pm 0,01	28,10

5.2.4 Duração de uma geração – ($\varphi=0,0$)

Na Tabela 11 podem ser observados os valores médios da duração em dias de uma geração de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. sem formação de alados ($\varphi=0,0$). Pode-se verificar que com a ação do parasitismo o valor médio dessa duração sofre uma redução de 12,6%. Isto está associado com o fato da longevidade também diminuir sob a ação do parasitóide, pois se a longevidade diminui, o ciclo de vida dos afídeos fica menor, levando a um número maior de gerações anuais, portanto o intervalo de tempo entre uma geração e outra se reduz.

Tabela 11 Duração em dias de uma geração de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. sem formação de alados ($\varphi=0,0$), sem e com parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes* (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%)

θ (°C)	Sem parasitismo	Com parasitismo	Redução (%)
25	9,13 \pm 0,02	7,98 \pm 0,01	12,60

5.2.5 Tamanho populacional – ($\varphi=\varphi(t)$)

Os valores médios do tamanho da população de *Aphis gossypii* criado sobre *Gossypium hirsutum* L. sob a ação de *Lysiphlebus testaceipes* a partir de $t = 60.000$, estão apresentados na Tabela 12. Pode-se verificar que houve uma redução da população em 23,65% quando submetida à ação do parasitóide, porém, menor que a redução obtida na situação sem alados (25,35 %).

Tabela 12 Valor médio do tamanho populacional de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. com formação de alados ($\varphi=\varphi(t)$), sem e com parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes* (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%)

θ (°C)	Sem parasitismo	Com parasitismo	Redução (%)
25	25726,00 \pm 287,24	19640,20 \pm 284,53	23,65

5.2.6 Curvas de sobrevivência – ($\varphi =\varphi(t)$)

No Gráfico 6 estão apresentadas as curvas de sobrevivência para o pulgão *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. com formação de alados ($\varphi=\varphi(t)$), desprezando-se as 100.000 etapas iniciais. A curva em preto se refere à população sem a ação do parasitóide, e a curva em vermelho se refere à população sob a ação do parasitóide a partir de $t = 60.000$. Novamente observa-se uma redução da longevidade devido à ação do parasitóide.

Ao comparar os Gráficos 5 e 6, observa-se na situação com parasitismo, a longevidade é maior quando se tem na população indivíduos da forma alada, dado que estes têm um potencial reprodutivo menor, ficando assim mais

próxima do valor da longevidade quando não se tem a influência do parasitismo na população.

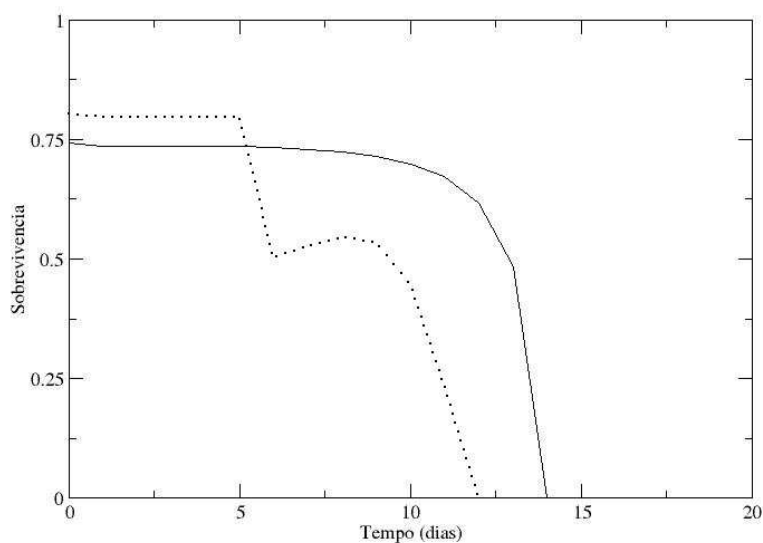


Gráfico 6 Curvas de sobrevivência de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. com formação de alados: sem parasitismo (preto) e com parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes* (vermelho)

No Gráfico 6 também é possível observar uma alta queda na probabilidade de sobrevivência dos indivíduos entre 5 e 7 dias quando sujeitos à ação do parasitóide, os fatores para esta queda são os mesmos apresentados para o Gráfico 5. No entanto, observa-se no Gráfico 6 que a probabilidade volta a crescer em 7 dias para então decrescer definitivamente.

Esse acréscimo na probabilidade de sobrevivência está relacionado com o fato de que nesta situação existe a presença de alados na população, o que não acontecia na situação do Gráfico 5.

5.2.7 Taxa intrínseca de crescimento – ($\varphi=\varphi(t)$)

Na Tabela 13 podem ser observados os valores médios da taxa intrínseca de crescimento de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. com formação de alados ($\varphi=\varphi(t)$). Pode-se verificar que com a ação do parasitismo a taxa intrínseca de crescimento da população sofre uma redução de 24,14%, menor que a redução obtida na situação sem alados (28,10%).

Tabela 13 Valor médio da taxa intrínseca de crescimento de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. com formação de alados ($\varphi=\varphi(t)$), sem e com parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes*

θ (°C)	Sem parasitismo	Com parasitismo	Redução (%)
25	0,29 ± 0,01	0,22 ± 0,01	24,14

5.2.8 Duração de uma geração – ($\varphi=\varphi(t)$)

Na Tabela 14 podem ser observados os valores médios da duração em dias de uma geração de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. com formação de alados ($\varphi=\varphi(t)$). Pode-se verificar que com a ação do parasitismo o valor médio dessa duração sofre uma redução de 14,80%, isto está associado com o fato da longevidade também diminuir sob a ação do parasitóide, pois se a longevidade diminui, o ciclo de vida dos afídeos fica menor, levando a um número maior de gerações anuais, portanto o intervalo de tempo entre uma geração e outra se reduz.

Tabela 14 Duração em dias de uma geração de *Aphis gossypii* em *Gossypium hirsutum* L. com formação de alados ($\varphi=\varphi(t)$), sem e com parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes* (médias \pm semiamplitude do intervalo de confiança 95%)

θ (°C)	Sem parasitismo	Com parasitismo	Redução (%)
25	9,22 \pm 0,02	7,85 \pm 0,02	14,8

6 CONCLUSÕES FINAIS

O modelo proposto, o qual se baseia na biologia do *Aphis gossypii* Glover (1887) em *Gossypium hirsutum* L. em diferentes temperaturas e condições de parasitismo por *Lysiphlebus testaceipes*, reproduz de forma satisfatória o comportamento de diferentes parâmetros biológicos do pulgão, tais como taxa intrínseca de crescimento, duração de uma geração e curvas de sobrevivência.

A produção de formas aladas dependente da densidade de afídeos torna o modelo um pouco mais realista, ao contrário de uma situação em que os indivíduos alados surgem na população com uma probabilidade constante e que, portanto, não leva em conta o efeito das competições entre indivíduos. No entanto, a produção de alados ainda não considera a presença de parasitóides na população. Assim, devido à redução populacional com a ação de parasitóides, a probabilidade de gerar alados tende a diminuir com a presença desses inimigos naturais. Contudo, a influência do parasitóide na formação de alados é um fator que poderá ser incluído e estudado em um trabalho posterior.

REFERÊNCIAS

BELTRÃO, N. E. M. **Informações sobre o algodão no Brasil**: situação, problemas, perspectivas e possíveis soluções. Campina Grande: Embrapa, 1996. 20 p. (Documentos, 48).

BRIGATTI, E. A.; MARTINS, J. S. S.; RODITI, I. Scaling properties of the penna model. **The European Physical Journal B**, Les Ulis, v. 42, n. 3, p. 431-434, Sept. 2004.

BRIGATTI, E. A.; MARTINS, J. S. S.; RODITI, I. Sharp gene pool transition in a population affected by phenotype-based selective hunting. **The European Physical Journal B**, Les Ulis, v. 45, n. 4, p. 529-532, Dec. 2005.

BUENO, V. H. P. Controle biológico de pulgões ou afídeos-praga em cultivos protegidos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 225, p. 9-17, 2005.

CARNEVALE, A. B. **Adequabilidade de *Aphis gossypii* Glover, 1877 e *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Hemiptera: Aphididae) a *Lysiplhebus testaceipes* Cresson, 1880 (Hymenoptera: Aphidiidae)**. 2002. 47 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

CARNEVALE, A. B.; BUENO, V. H. P.; SAMPAIO, M. V. Parasitismo e desenvolvimento de *Lysiplhebus testaceipes* Cresson, 1880 (Hymenoptera: Aphidiidae) em *Aphis gossypii* Glover e *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 293-297, 2003.

COE, J. B.; MAO Y. Population dynamics in the penna model. **Physica Review E**, New York, v. 297, n. 5578, p. 94-96, July 2002.

DIXON, A. F. G. The way of life of aphids: host specificity, speciation and distribution. In: MINKS, A. K.; HARREWING, P. **World crop pest- aphids: their biology, natural enemies and control**. Amsterdam: Elsevier, 1987. cap. 4, p. 197-207.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, 2008. 519 p

ESCUADERO, L. F. **La simulación en la empresa**. Barrancú: Deusto, 1973.

EYSENCK, M. W. **Cognitive psychology: a student's Handbook**. London: Psychology, 1990. p. 15-16

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 2002. v. 10, 920 p.

GIAROLA, L. T. P. **Estudo analítico de dinâmica populacional e aplicação modelo Penna a populações de pulgões *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae)**. 2005. 68 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

GIAROLA, L. T. P.; MARTINS, S. G. F.; COSTA, M. C. P. T. Computer simulation of *Aphis gossypii* insects using Penna ageing model. **Physica A - Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 368, n. 1, p. 147-154, Jan. 2006.

HE, X. Z.; WANG, Q.; TEULON, D. A. J. The effect of parasitism by *Aphidius ervi* on development and reproduction of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. **New Zealand Plant Protection**, New Zealand, v. 58, p. 202-207, 2005.

HOLST, N.; RUGGLE, P. A physiologically based model of pest-natural enemy interactions. **Experimental Applied Acarology**, Amsterdam, v. 21, p. 325- 341, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro, 1974.

ILHARCO, F. A. **Equilíbrio biológico de afídeos**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992. 303 p.

MARTINS, J. S. S.; RACCO, A. Simulated emergence of cyclic sexual - asexual reproduction. **Physica A - Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 297, n. 3, p. 485-494, Aug. 2001.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling & analysis**. 3. ed. New York: Mc Graw-Hill, 2000. 760p.

MEDEIROS, N. G. F. **Modelos evolucionários de envelhecimento biológico**. 2001. 119 p. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

MENDONÇA, E. R. **Manual do produtor e do beneficiador do algodão**. Brasília: Nacional, 1973. 222 p.

MICHELOTTO, M. D.; SILVA, R. A.; BUSOLI, A. C. Tabelas de esperança de vida e fertilidade para *Aphis gossypii* Glover, 1877 (Hemiptera: Aphididae) em três cultivares de algodoeiro **Boletín de Sanidad Vegetal Plagas**, Madrid, v. 29, p. 331-337, 2003.

MOSS, S. M.; OLIVEIRA, T. J. P.; PENNA, T. J. P. Simulating the vanishing of the northern cod fish. **Physica A- Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 215, n. 3, p. 298-304, May 1995.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 434 p.

OLIVEIRA, A. C. S.; MARTINS, S. G. F.; ZACARIAS, M. S. Computer simulation of the coffee leaf miner using sexual Penna aging model. **Physica A - Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 387, n. 2, p. 476-484, Jan. 2008.

OLIVEIRA, S. M. et al. Simulating the vanishing of northern cod fish. **Physica A - Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 215, p. 298-304, 1995.

PARTRIDGE, L.; BARTON, N. H. On measuring the rate of ageing. **Proceedings of the Royal Society of London**, London, v. 263, p. 1365-1371, 1996.

PENNA, T. J. P. A bit string model for biological aging. **Journal of Statistical Physics**, New York, v. 78, n. 5/6, p. 1629-1633, 1995.

PENNA, T. J. P.; RACCO, A.; SOUZA, A. O. Can microscopic models forage-structured populations contribute to ecology? **Physica A - Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 395, n. 1, p. 31-37, June 2001.

PEREIRA, C.; LOMONACO. Produção de formas aladas em colônias de *Brevicoryne brassicae* (L.) (Homoptera: Aphididae) por indução do parasitóide *Diaeretiella rapae* (McIntosh) (Hymenoptera: Aphididae) e alguns aspectos comportamentais da interação destas espécies. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 97-102, 2003.

PIZZA, A. F. R. T. Dynamics of the bit-string model of the age structured Population. **Physica A - Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 242, n. 1/2, p. 195-218, Apr. 1997.

RODRIGUES, S. M. M. **Avaliação de *Lysiphlebus testaceipes* Cresson, 1880 (Hym.: Aphididae) como agente de controle biológico de pulgões em cultivos protegidos**. 2003. 106 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

RODRIGUES, S. M. M. et al. Influência da temperatura no desenvolvimento e parasitismo de *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiidae) em *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 341-346, 2004.

ROSE, M. R. **Evolutionary biology of aging**. Oxford: Oxford University, 1991.

SOGLIA, M. C. M.; BUENO, V. H. P.; RODRIGUES, S. M. M. Fecundidade e longevidade de *Aphis gossypii* Glover, 1877 (Hemiptera: Aphididae) em diferentes temperaturas e cultivares comerciais de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzelev). **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 49-54, 2003.

SOGLIA, M. C. M.; BUENO, V. H. P.; SAMPAIO, M. V. Desenvolvimento e sobrevivência de *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) em diferentes temperaturas e cultivares comerciais de crisântemo. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 211-216, 2002.

SOGLIA, M. C. M.; BUENO, V. H. P.; SAMPAIO, M. V. Fertility life of *Aphis gossypii* on three commercial chrysanthemum cultivars. **IOB/wrps Bulletin**, Finland, v. 28, n.1, p. 41-244, 2005.

SOUZA, A. A. **Simulação da dinâmica populacional do pulgão *Aphis gossypii* Glover, 1877 e sua interação com o parasitóide *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880)**. 2008. 74 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

STAUFFER, D. Monte Carlo simulations of biological aging. **Brazilian Journal of Physics**, São Paulo, v. 24, p. 900-906, 1994.

TAKEYA, D. M. **Um outro nordeste: o algodão na economia do Rio Grande do Norte (1880-1915)**. Fortaleza: BNB/ETENE, 1985. 138 p. (Documentos do Nordeste, 4).

XIA, J. Y.; VAN DER WERF, W.; RABBINGE, R. Influence of temperature on bionomics of cotton aphid, *Aphis gossypii*, on cotton. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Netherlands, v. 90, p. 25-35, 1999.