

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA DINÂMICA
POPULACIONAL DO BICHO-MINEIRO DO
CAFEEIRO *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842)
(Lepidoptera: Lyonetiidae), UTILIZANDO A VERSÃO
SEXUADA DO MODELO PENNA**

ANDERSON CASTRO SOARES DE OLIVEIRA

2007

ANDERSON CASTRO SOARES DE OLIVEIRA

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA DINÂMICA POPULACIONAL DO
BICHO-MINEIRO DO CAFEEIRO *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville,
1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), UTILIZANDO A VERSÃO SEXUADA
DO MODELO PENNA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação Strictu-Sensu em Estatística e Experimentação Agropecuária para a obtenção do título de "Mestre".

Orientadora: Profa. Dra. Solange Gomes Faria Martins

Co-orientador: Dr. Mauricio Sergio Zacarias

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2007

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

Oliveira, Anderson Castro Soares de

Simulação computacional da dinâmica populacional do bicho-mineiro do cafeeiro *Leucopetera coffeella* (Guén-Mèneville, 1842) (Lepdoptera: Lyonetiidae), utilizando a versão sexuada do modelo Penna / Anderson Castro Soares de Oliveira. – Lavras : UFLA, 2007.

83p. : il.

Orientador: Solange Gomes Faria Martins.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Café. 2. Bicho-mineiro. 3. Dinâmica populacional. 4. Modelo Penna. I. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.73978

ANDERSON CASTRO SOARES DE OLIVEIRA

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA DINÂMICA POPULACIONAL DO
BICHO-MINEIRO DO CAFEEIRO *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville,
1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), UTILIZANDO A VERSÃO SEXUADA
DO MODELO PENNA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação Strictu-Sensu em Estatística e Experimentação Agropecuária para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 27 de fevereiro de 2007

Profa. Dra. Brígida de Souza	UFLA
Dr. Mauricio Sergio Zacarias	EMBRAPA Café
Prof. Dr. Onofre Rojas Santos	UFLA
Prof. Dr. Thadeu Josino Pereira Penna	UFF

Profa. Dra. Solange Gomes Faria Martins
UFLA
(Orientadora)

**LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL**

DEDICATÓRIA

A meus pais, Rozenilde e Olivio, pela dedicação e carinho, lapidando meu caráter e tornando possível a realização deste sonho.

Aos meus irmãos queridos, Eilson, Roselivia e Sanderson, pelo apoio e amizade, presentes em todos os momentos da minha vida.

Ao meu sobrinho, João Vitor, que há pouco chegou na família pra alegrar a vida de todos nós.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Exatas, pela oportunidade de concretização do curso de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo concessão da bolsa de estudos.

À professora Dra. Solange Gomes Faria Martins e ao Dr Mauricio Sergio Zacarias, pela orientação, ensinamentos, amizade, conselhos, apoio e confiança durante os últimos dois anos.

A todos os professores que contribuíram para o enriquecimento dos conhecimentos indispensáveis a este trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Exatas pela eficiência e amizade.

Aos colegas de turma: Ademária, Elisa, Luciene, Lourdinha, Melissa, Osvaldo, Patricia Paranaíba, Patricia Neves, Patricia Siqueira, Quintiliano, Rafael, pela amizade.

Aos amigos e companheiros Daniela e Murilo por terem me aguentando em casa durante dois anos.

Ao quarteto de estudos e sofrimentos Ademária, Luciene, Patricia Paranaíba, Patricia Neves, pelos cafés da tarde, brigas, discussões, socorros, enfim, pelo companheirismo e amizade.

Aos amigos do departamento Adriano, Betania, Claudinei, Graziela, Marcelino (Popó), Natascha, Ricardo, Ricardo (Little), Roberta, Tiago e Verônica, pela amizade ao longo do curso.

Aos demais amigos Amanda, Melissa, Paulo Henrique e Renata.

Ao Carlos, pelos conselhos, amizade e companheirismo.

Ao pesquisador Paulo Rebelles da Epamig, por ter disponibilizado os da-

dos de flutuação populacional do bicho-mineiro.

À pesquisadora Jaqueline, da Embrapa Café por ter disponibilizado os dados de temperatura e precipitação de São Sebastião do Paraíso.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
CAPÍTULO 1:	1
1 INTRODUÇÃO GERAL	2
2 REFERÊNCIA TEÓRICO	5
2.1 Bicho-mineiro do cafeeiro	5
2.1.1 Aspectos biológicos e comportamentais	8
2.2 Modelo Penna	11
2.2.1 Modelo Penna assexuado	12
2.2.2 Modelo Penna sexuado	14
2.2.3 Principais características do modelo Penna	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPÍTULO 2: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA DINÂMICA PO- PULACIONAL DO BICHO-MINEIRO DO CAFEEIRO MANTIDO EM TEMPERATURAS CONSTANTES	23
RESUMO	24
ABSTRACT	25
1 INTRODUÇÃO	26
2 METODOLOGIA	27

2.1 Tamanho populacional	30
2.2 Taxa intrínseca de crescimento	30
2.3 Curvas de sobrevivência	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.1 Probabilidade de oviposição independente da temperatura	32
3.1.1 Tamanho populacional	32
3.1.2 Taxa intrínseca de crescimento	37
3.1.3 Curvas de sobrevivência	39
3.2 Probabilidade dependente da temperatura	41
3.2.1 Tamanho populacional	42
3.2.2 Taxa intrínseca de crescimento	43
3.2.3 Curvas de sobrevivência	45
4 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

CAPÍTULO 3: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA A DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE GERAÇÕES ANUAIS DO BICHOMINEIRO DO CAFEEIRO COM BASE, NA TEMPERATURA	49
RESUMO	50
ABSTRACT	51
1 INTRODUÇÃO	52
2 METODOLOGIA	54
2.1 Número de gerações anuais com base em temperaturas médias anuais .	55
2.2 Número de gerações anuais das principais regiões cafeeicultoras do estado de São Paulo	56
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1 Número de gerações anuais, com base em temperaturas médias anuais .	57

3.2 Número de gerações anuais das principais regiões cafeeicultoras do estado de São Paulo	58
4 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
CAPÍTULO 4: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DO BICHO-MINEIRO DO CAFEIEIRO EM CONDIÇÕES DE CAMPO PARA A CIDADE DE SÃO SEBASTIÃO DO PARAÍSO, MG	64
RESUMO	65
ABSTRACT	66
1 INTRODUÇÃO	67
2 METODOLOGIA	68
2.1 Número de gerações anuais	70
2.2 Flutuação populacional	70
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
3.1 Número de gerações anuais	71
3.2 Flutuação populacional	72
4 CONCLUSÃO	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS	78

LISTA DE TABELAS

1.1	Porcentagem de fêmeas de bicho-mineiro do cafeeiro que realizaram oviposição (Parra, 1981).	10
2.1	Probabilidade de oviposição de fêmeas de bicho-mineiro do cafeeiro, de acordo com a temperatura (Parra, 1981).	28
2.2	Parâmetros do modelo em função da temperatura, conforme dados experimentais (Parra, 1981). <i>R</i> , <i>PRE</i> , <i>PO</i> e <i>DOV</i> são expressos em dias.	29
2.3	Tamanhos médios da população de bicho-mineiro do cafeeiro (número médio de indivíduos $\pm \delta$) obtidos na simulação (δ : semi-amplitude do intervalo de 95% de confiança).	32
2.4	Número médio de ovos por fêmea de bicho-mineiro a cada dia de oviposição.	34
2.5	Períodos de oscilação da série temporal do tamanho populacional de bicho-mineiro	37
2.6	Taxa finita de aumento (média $\pm \delta$) e taxa intrínseca de crescimento da população do bicho-mineiro do cafeeiro, obtidas por Parra (1981) e por meio de simulação (δ : semi-amplitude do intervalo de 95% de confiança).	39
2.7	Longevidades de machos e fêmeas de bicho-mineiro do cafeeiro obtidas experimentalmente (Parra, 1981) e por meio da simulação.	41
2.8	Tamanhos médios da população de bicho-mineiro do cafeeiro (média $\pm \delta$) obtidos na simulação com oviposição de 100% e com probabilidade de oviposição diferenciada, em função da temperatura (δ semi-amplitude do intervalo de 95% de confiança).	42

2.9	Taxa finita de aumento (média $\pm\delta$) da população de bicho-mineiro do cafeeiro obtida experimentalmente e por simulação, com probabilidade de oviposição de 100% e diferenciada (δ : semi-amplitude do intervalo de 95% de confiança).	44
2.10	Taxa intrínseca de crescimento obtida experimentalmente (Parra, 1981) e por simulação, com oviposição de 100% e com probabilidade de oviposição diferenciada.	44
3.1	Número de gerações anuais do bicho-mineiro do cafeeiro, com base em temperaturas médias anuais obtidas por Parra (1981) e pela simulação.	57
3.2	Número de gerações anuais de bicho-mineiro, com base em temperaturas por pântada, para oito cidades do estado de São Paulo, obtidas por Parra (1981) e pela simulação.	58
3.3	Temperaturas médias anuais e número de gerações anuais de bicho-mineiro do cafeeiro, com base em temperaturas médias por pântada para os municípios de Pindorama e Campinas, SP, nos anos de 1972 a 1979, obtidos por Parra (1981) e pela simulação.	59
3.4	Números de gerações anuais de bicho-mineiro do cafeeiro obtidos pela simulação e experimentalmente por Parra (1975), para o ano de 1973 e por Gonçalves et al. (1977), para o ano de 1976, para as cidades de Pindorama e Campinas.	60
4.1	Número de gerações anuais de bicho-mineiro, com base em temperaturas por pântada, para São Sebastião do Paraíso, obtidas na simulação.	71

LISTA DE FIGURAS

- 1.1 Curva da flutuação populacional do bicho-mineiro, durante o ano, nas regiões de clima favorável à praga, com ocorrência de dois picos populacionais em abril/maio e setembro/outubro (Alto Paranaíba, Triângulo Mineiro, Jequitinhonha e outras) (Souza et al., 1998). 6
- 1.2 Curva da flutuação populacional do bicho-mineiro, durante o ano, nas regiões cafeeiras do Sul de Minas, com ocorrência de um único pico populacional da praga em setembro/outubro (Souza et al., 1998). 7
- 1.3 Ciclo biológico do bicho-mineiro do cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842). 9
- 1.4 Tira de 32 bits representando o "genótipo" da mãe e a tira herdada pelo filho, com uma mutação deletéria escolhida em um bit aleatório (idade quatro). Os bits setados em 1 representam mutações deletérias e os bits setados em 0 ausência de mutações. 13
- 1.5 Duas tiras de 32 bits representando o "genótipo" de um indivíduo "diplóide". 14
- 1.6 Representação da reprodução na versão sexuada do modelo Penna. Os genótipos diplóides da fêmea e do macho atravessam o processo de cruzamento e recombinação formando dois pares de gametas haplóides (branco e cinza). Na segunda passagem, é escolhido um dos gametas haplóide e introduzidas mutações deletérias (bits com cor cinza escuro), formando, assim, o genótipo do filho. 16

1.7	Evolução temporal do tamanho populacional para uma simulação do modelo Penna, considerando os parâmetros $N_0 = 10.000$, $N_{max} = 100.000$, $R = 8$, $B = 1$, $M = 1$, $T = 1$	17
1.8	Curvas de sobrevivência ao longo do tempo, obtidas de dados da simulação com modelo Penna, considerando os parâmetros $N_0 = 10.000$, $N_{max} = 100.000$, $R = 8$, $B = 1$, $M = 1$, $T = 1$	19
1.9	Curva de sobrevivência obtida de dados da simulação com modelo Penna, considerando os parâmetros $N_0 = 10.000$, $N_{max} = 100.000$, $R = 8$, $B = 1$, $M = 1$, $T = 1$. Observa-se um decaimento na probabilidade de sobrevivência, indicando a presença do envelhecimento da população a partir da idade reprodutiva R	19
2.1	Evolução temporal do tamanho da população de bicho-mineiro do cafeeiro, nas temperaturas de $20^\circ C$ (a), $27^\circ C$ (b) e $30^\circ C$ (c).	33
2.2	Função de autocorrelação (ξ) do tamanho da população de bicho-mineiro do cafeeiro e espectro de Fourier da função de autocorrelação ($\mathcal{F}(\xi)$), nas temperaturas de $20^\circ C$ (a), $27^\circ C$ (b) e $30^\circ C$ (c).	35
2.3	Evolução temporal do tamanho da população de bicho-mineiro do cafeeiro, de $t = 60.000$ a $t = 60.500$, e seu espectro de Fourier nas temperaturas de $20^\circ C$ (a), $27^\circ C$ (b) e $30^\circ C$ (c).	36
2.4	Evolução temporal da taxa finita de aumento (λ_t) da população de bicho-mineiro do cafeeiro, nas temperaturas de $20^\circ C$ (a), $27^\circ C$ (b) e $30^\circ C$ (c).	38
2.5	Curvas de sobrevivência do bicho-mineiro do cafeeiro: (a) população total, (b) população de machos e (c) população de fêmeas, nas temperaturas de $20^\circ C$ (preto), $27^\circ C$ (vermelho) e $30^\circ C$ (verde).	40

2.6	Evolução temporal do tamanho da população de bicho-mineiro do cafeeiro, nas temperaturas de $27^{\circ}C$ (a) e $30^{\circ}C$ (b), considerando probabilidade de oviposição de 100% e diferenciada.	43
2.7	Curvas de sobrevivência do bicho-mineiro do cafeeiro (a) com oviposição de 100% e (b) com oviposição diferenciada, nas temperaturas de $27^{\circ}C$ (preto) e $30^{\circ}C$ (vermelho).	45
4.1	Probabilidade de morte de bicho-mineiro do cafeeiro, em função da precipitação pluvial.	68
4.2	Flutuação populacional de lagartas de bicho-mineiro do cafeeiro, para município de São Sebastião do Paraíso, MG, nos anos de 1989 a 1993, obtidas pela simulação, sem (preto) e com (vermelho) influência de precipitação e suas temperaturas médias mensais (verde) e precipitações pluviométricas médias mensais (azul).	73
4.3	Flutuação populacional de lagartas de bicho-mineiro do cafeeiro, para o município de São Sebastião do Paraíso, MG, nos anos de 1989 a 1993, obtida por Reis & Souza (1996) (preto), e simulação com precipitação (vermelho), e suas temperaturas médias mensais (verde) e precipitações pluviométricas médias mensais (azul).	74

RESUMO

OLIVEIRA, Anderson Castro Soares de. **Simulação computacional da dinâmica populacional do bicho-mineiro do cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), utilizando a versão sexuada do modelo Penna.** 2007. 83 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Neste trabalho foram realizadas simulações computacionais, utilizando o modelo Penna para envelhecimento biológico em sua versão sexuada, com o objetivo de estudar aspectos relativos à dinâmica populacional do bicho-mineiro do cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae). Para tal, foram feitas adaptações ao modelo, de acordo com as características biológicas desse inseto, a partir de dados experimentais obtidos na literatura científica. Foram realizadas simulações da dinâmica populacional do bicho-mineiro para condições de laboratório, a diferentes temperaturas, obtendo-se o tamanho médio populacional, a taxa intrínseca média de crescimento e as curvas de sobrevivência. Para a simulação da dinâmica em condições de campo, foram determinados os números de gerações anuais, com base em temperaturas, para municípios com temperaturas médias anuais entre $17^{\circ}C$ e $23^{\circ}C$, e para regiões cafeeiras do estado de São Paulo. Também foram realizadas simulações para a flutuação populacional de larvas do bicho-mineiro no município de São Sebastião do Paraíso-MG, considerando-se os efeitos de temperatura e precipitação. Os resultados obtidos indicam que a simulação pode ser um instrumento apropriado para a compreensão da dinâmica de população desta espécie e para o estabelecimento de estratégias de controle.

*Comitê Orientador: Solange Gomes Faria Martins (Orientadora) – UFLA e Mauricio Sergio Zacarias (Co-orientador) – EMBRAPA

ABSTRACT

OLIVEIRA, Anderson Castro Soares de . **Computational simulation of the population dynamics of coffee leaf-miner, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), employing the sexual version of the Penna model.** 2007. 83 p. (Master Dissertation in Statistics and Agricultural Experimentation). Federal University of Lavras, Lavras, MG. *

A number of computational simulations, employing the Penna model of biological aging in its sexual version, were worked out in an attempt to understand some aspects of the population dynamics of coffee leaf-miner, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae). With this concern in mind, some changes were applied to the model in order to make it sensitive to biological characteristics of this particular insect species, in accordance with published experimental studies. Simulations with different laboratory conditions at different temperatures were carried on. Under these condition, the values for mean population size, intrinsic growth rate and survival curves were obtained. For the simulation of field conditions, the number of generations per year was determined taking in account mean temperature values ranging from $17^{\circ}C$ e $23^{\circ}C$, as well as those from coffee-planting regions in the state of São Paulo. Simulations of population fluctuations in larvae from the district of São Sebastião do Paraíso were also done, on the basis of data on temperatures and precipitation. The results support the contention that computer simulations are useful tools in understanding the dynamics of populations of this particular species and for the development of strategies for population control.

*Guidance Committee: Solange Gomes Faria Martins (Major Professor) – UFLA e Mauricio Sergio Zacarias (Co-adviser) – EMBRAPA

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

Desde sua introdução no Brasil, aproximadamente em 1727, a cultura do café tem desempenhado papel importante no desenvolvimento econômico de várias regiões do país. Hoje, possui uma área plantada de cerca 2,416 milhões de hectares, distribuída em 13 estados e 1.850 municípios, Minas Gerais é o principal produtor, responsável por 45% do total da produção nacional, seguido de Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná e Rondônia. A produção de café arábica se concentra em São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Bahia e parte do Espírito Santo, enquanto o café robusta é plantado, principalmente, no Espírito Santo e Rondônia (Anuário ..., 2005).

O Brasil é o principal exportador mundial e responde por, aproximadamente, um terço da produção mundial de café, três vezes mais do que a Colômbia, o segundo maior exportador. Uma particularidade do Brasil em relação aos demais países produtores, é que se constitui no segundo maior consumidor mundial de café, perdendo apenas para os Estados Unidos (Anuário ..., 2005).

O café desempenha um papel importante na economia brasileira, sendo responsável pela geração de renda e divisas, contribuindo com mais de 2% do montante total das exportações brasileiras. É responsável por 8 milhões de empregos diretos e indiretos sendo a segunda maior cultura em geração de empregos no campo, superado apenas pela de grãos. Entretanto, a produtividade da cafeicultura brasileira tem sido severamente reduzida por problemas fitossanitários, em especial o bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) (Anuário ..., 2005; Souza et al., 1998).

O bicho-mineiro do cafeeiro é uma pequena mariposa que, em sua fase de larva, alimenta-se do parênquima foliar do cafeeiro, reduzindo a produtividade e

causando prejuízos. Em função das perdas ocasionadas, os cafeicultores fazem uso indiscriminado de inseticidas, no intuito de controlar essa praga, o que onera a produção e acarreta sérios problemas ecológicos (Souza et al., 1998).

Uma opção de controle seria o Manejo Integrado de Pragas (MIP), que se constitui em um plano de medidas voltadas para diminuir o uso de agrotóxicos na produção, buscando otimizar o uso desses produtos no sistema, preservando e incrementando os fatores de mortalidade natural das pragas. O MIP é um sistema de manejo de pragas que associa o ambiente e a dinâmica populacional da espécie, utilizando táticas de controle selecionadas com base em parâmetros técnicos, econômicos, ecológicos e sociológicos, de forma a manter a população da praga em níveis abaixo daqueles capazes de causar dano econômico (Gallo et al., 2002).

O melhor momento para inserir um tipo de controle (químico ou biológico) é determinado pelo monitoramento das densidades populacionais dos insetos-praga. Por esta razão, no sistema de MIP, conhecimentos sobre o ciclo de vida, a flutuação populacional e o número de gerações são fundamentais (Gallo et al., 2002).

Assim, os modelos matemáticos e computacionais são ferramentas importantes para prever, avaliar e compreender a dinâmica de populações de pragas em uma variedade de condições ambientais e de ações de manejo. Com esses modelos, diferentes estratégias de controle podem ser comparadas. Os modelos são especialmente úteis para se prever a eficiência de métodos não químicos de controle (Peck, 2000).

No estudo de insetos, os modelos visam previsões detalhadas sobre a dinâmica populacional de sistemas particulares, visando capturar a essência da dinâmica de um sistema e seus princípios gerais, de maneira qualitativa. A maioria das pesquisas visa os modelos capazes de lidar com um número grande de variáveis, na busca de descrever melhor o sistema (Peck, 2000).

Dada a importância do entendimento da dinâmica populacional do bicho-mineiro do cafeeiro e de se traçar planos e estratégias visando ao seu controle, é proposto, neste trabalho, um modelo para a dinâmica populacional desta praga, usando dados experimentais obtidos na literatura científica. Considerando a necessidade de uma estrutura etária, utilizou-se o Modelo Penna em sua versão sexuada (Stauffer et al., 1996).

Assim, este trabalho está estruturado em quatro capítulos: no primeiro são apresentadas informações relativas ao bicho-mineiro e a descrição do modelo Penna em suas duas versões (assexuada e sexuada); no segundo, são apresentadas as simulações da dinâmica com temperaturas constantes. O terceiro trata de simulações para determinação do número de gerações anuais e, finalmente, no quinto capítulo, a simulação da flutuação populacional do bicho-mineiro em condições de campo para o município de São Sebastião do Paraíso e comparações com dados experimentais.

2 REFERÊNCIA TEÓRICO

2.1 Bicho-mineiro do cafeeiro

A pequena mariposa *Leucoptera coffeella* é conhecida como bicho-mineiro do cafeeiro pelo fato da lagarta minar as folhas de plantas de café. Esta praga é originária da África, onde também são encontradas três outras espécies do mesmo gênero: *Leucoptera coffeina* (Washburn, 1940), *Leucoptera coma* (Ghesquière, 1940) e *Leucoptera meyricki* (Ghesquière, 1940). A presença desse inseto de hábito monófago, pois ataca apenas o cafeeiro, foi constatada, no Brasil, a partir de 1851. Atualmente, encontra-se difundida por todas as regiões cafeeiras do país, sendo considerado a principal praga da cultura (Gallo et al., 2002; Souza et al., 1998).

Até 1970, esta praga era problema apenas no período seco, porém, após a utilização de compostos químicos para o controle da ferrugem, uma grave doença fúngica que infecta as plantas de café, passou a ocorrer também no período chuvoso. Os prejuízos são ocasionados na fase de lagarta, quando o bicho-mineiro se alimenta do parênquima foliar, formando minas, o que causa redução da área fotossintetizante e senescência precoce das folhas atacadas, e conseqüente redução de produtividade, rendimento e longevidade do cafeeiro (Parra, 1981; Souza et al., 1998).

Em geral, as plantas que sofrem intenso ataque do bicho-mineiro apresentam o topo completamente desfolhado e podem levar até dois anos para se recuperarem, principalmente se a desfolha ocorrer em um ano de grande produção de café. Essas plantas, uma vez desfolhadas, serão muito mais exigentes, já que consumirão mais energia para recompor sua parte aérea (Souza et al., 1998).

A ocorrência do bicho-mineiro está condicionada a diversos fatores, dentre

eles, as condições climáticas. A precipitação pluvial e a umidade relativa elevadas influenciam negativamente o crescimento da população da praga, ao contrário da temperatura, que exerce influência positiva. A presença ou a ausência de inimigos naturais, como parasitóides, predadores e patógenos, também determinam os níveis de infestação dessa praga. Assim, a flutuação populacional varia de ano para ano e entre diferentes regiões cafeeiras (Reis & Souza, 1986; Souza et al., 1998).

Em regiões de clima favorável (altas temperaturas) ao inseto, como Alto Paranaíba, Triângulo Mineiro e Jequitinhonha, ocorrem, em geral, dois picos populacionais da praga: um em abril/maio e outro em setembro/outubro (Figura 1.1). Já nas regiões cafeeiras do Sul de Minas Gerais, onde o clima é mais ameno, em geral, não ocorre o pico populacional de abril/maio, limitando-se ao pico de setembro/outubro (Figura 1.2).

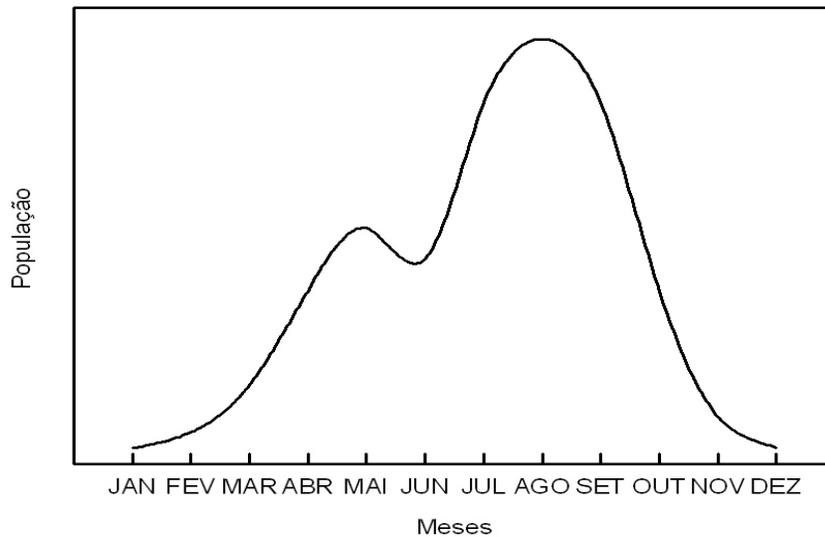


FIGURA 1.1: Curva da flutuação populacional do bicho-mineiro, durante o ano, nas regiões de clima favorável à praga, com ocorrência de dois picos populacionais em abril/maio e setembro/outubro (Alto Paranaíba, Triângulo Mineiro, Jequitinhonha e outras) (Souza et al., 1998).

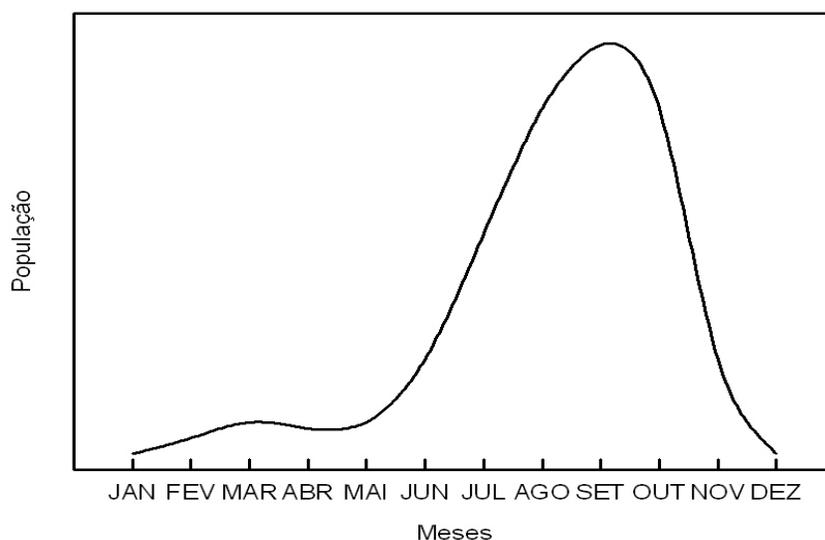


FIGURA 1.2: Curva da flutuação populacional do bicho-mineiro, durante o ano, nas regiões cafeeiras do Sul de Minas, com ocorrência de um único pico populacional da praga em setembro/outubro (Souza et al., 1998).

O controle biológico dessa praga ocorre naturalmente, pela ação de inimigos naturais, especialmente micro-himenópteros parasitóides e vespas predadoras. Estes insetos, encontrados naturalmente nas lavouras de café, procuram nas minas ou lesões das folhas do cafeeiro, lagartas do bicho-mineiro para parasitar ou preda. Alguns microrganismos entomopatogênicos (bactérias e fungos) também podem ocorrer, causando doenças nas lagartas do bicho-mineiro. Destacam-se, entre eles, as bactérias *Erwinia herbicola* (Löhnis, 1911) e *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter, 1872), apontadas, até o momento, como as mais eficientes, causadoras de doenças em lagartas do bicho-mineiro (Gallo et al., 2002; Souza et al., 1998).

Os micro-himenópteros (pequenas vespas), pertencentes a várias famílias, parasitam e matam as lagartas do bicho-mineiro, apresentando em torno de 18% de eficiência no controle. As vespas predadoras que constroem os ninhos nos próprios cafeeiros, em árvores e arbustos ou outros suportes próximos das lavouras de café, procuram as lesões nas folhas, rasgam com as mandíbulas a epiderme foliar, retiram as lagartas e as comem. Já foram identificados vários predadores, todos da família Vespidae, ordem Hymenoptera, responsáveis por até 69% de controle (Gallo et al., 2002; Souza et al., 1998)

Embora, no manejo integrado de pragas, esteja prevista a associação de diversos tipos de controle, ainda hoje, a predominância do controle químico do bicho-mineiro é quase total. Esse tipo de controle é realizado previamente, por meio do monitoramento da praga, no intuito de evitar os picos populacionais (Gallo et al., 2002; Souza et al., 1998).

2.1.1 Aspectos biológicos e comportamentais

O ciclo de vida do bicho-mineiro do cafeeiro inclui as seguintes fases: ovo, larva ou lagarta, pupa e adulta. Os ovos são postos isoladamente e sempre na superfície superior da folha; são achatados, brancos e brilhantes, com 0,30mm de comprimento e 0,25mm de largura. Esta fase dura, em média, de 5 a 21 dias, dando origem às lagartas que, logo após a eclosão, perfuram a epiderme foliar e iniciam sua alimentação dos tecidos parenquimáticos, contruindo as características minas. Quando completamente desenvolvidas, medem cerca de 3,5mm. Acredita-se que o bicho-mineiro passe por 3 ínstars (um ínstar corresponde ao período entre duas mudas de tegumento) para completar a fase de lagarta, que dura, em média, de 9 a 40 dias. Após esse período, as lagartas abandonam as minas, tecem um fio de seda e descem, penduradas, para folhas nas partes inferiores e mais protegidas

das plantas. Nesse local, constróem um casulo de seda branca em forma de X, onde passam a fase de pupa. Terminada essa fase, cuja duração média é de 5 a 26 dias, emergem pequenas mariposas que possuem, aproximadamente, 6,5mm de envergadura e longevidade média de 15 dias (Gallo et al., 2002; Souza et al., 1998).

O ciclo biológico varia, em média, de 19 a 87 dias (Figura 1.3), dependendo das condições climáticas, principalmente da temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluvial. Estimam-se que ocorra de oito a doze gerações anuais (Gallo et al., 2002; Reis & Souza, 1986).

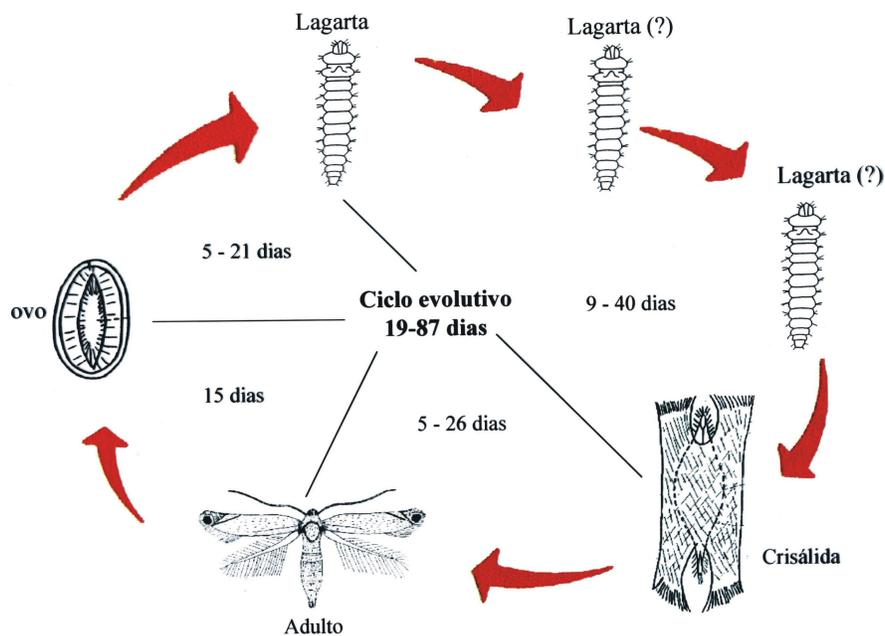


FIGURA 1.3: Ciclo biológico do bicho-mineiro do cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842).

Os estudos relativos à biologia e ao comportamento do bicho-mineiro, realizados por Katiyar & Ferrer (1968), Parra (1981) e Speer (1949), mostram que todas as fases do ciclo de vida e, portanto, a longevidade do inseto, dependem da temperatura (dentro da faixa ótima de desenvolvimento do inseto). Quanto mais alta for a temperatura, mais curto será o seu ciclo de vida, havendo uma distinção entre as longevidades de machos e fêmeas. Já a razão sexual do bicho-mineiro não é afetada pela temperatura, sendo de 1:1, ou seja, há 50% de machos e 50% de fêmeas.

A temperatura não parece ser um fator importante na indução da cópula, podendo ocorrer entre as temperaturas de $23,8^{\circ}C$ e $32,2^{\circ}C$, preferencialmente pela manhã, sendo a fêmea fecundada uma única vez (Walker & Quintana, 1969).

Após a cópula, a fêmea necessita de um período para dar início à oviposição, cuja duração decresce com o aumento da temperatura. A oviposição não é realizada de uma só vez, e pode durar até 25 dias. As fêmeas realizam a oviposição, preferencialmente em dias de temperaturas médias superiores a $22^{\circ}C$, embora também realizem postura, mais raramente, a temperaturas médias entre 17° e $22^{\circ}C$ (Speer, 1949; Walker & Quintana, 1969).

Parra (1981) evidenciou que a temperatura influencia também na capacidade de oviposição de fêmeas de bicho-mineiro (tabela 1.1), observando que apenas a $27^{\circ}C$, a quase totalidade das fêmeas ovipositou.

TABELA 1.1: Porcentagem de fêmeas de bicho-mineiro do cafeeiro que realizaram oviposição (Parra, 1981).

Temperatura	Porcentagem de fêmeas
$20^{\circ}C$	33%
$27^{\circ}C$	93%
$30^{\circ}C$	66%

2.2 Modelo Penna

O modelo Penna (Penna, 1995), também conhecido como modelo de "Bit-String", utiliza as técnicas de Monte Carlo para tratar diferentes aspectos relativos ao envelhecimento. Este modelo, proposto por Penna, em 1995, fundamenta-se na teoria de acúmulo de mutações, uma teoria evolucionária criada por Peter Medawar (Rose, 1991). Segundo essa teoria, o envelhecimento é resultado do acúmulo de mutações deletérias, transmitidas hereditariamente e ativas em idades específicas, e do declínio da seleção natural em idades avançadas, nas quais a fertilidade é reduzida ou nula e os genes já foram transmitidos para os descendentes.

Neste modelo, a população é constituída de fêmeas "haplóides", cujos "genótipos" são representados por palavras computacionais de variáveis binárias (0 e 1), podendo, assim, utilizar uma estratégia computacional baseada em operações lógicas (AND, OR e XOR) que permitem a manipulação direta de bits, de forma simples e rápida, admitindo que sejam simuladas populações de grande tamanho e evoluções temporais longas.

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, "genótipos" são gerados aleatoriamente. Para ambas as estratégias, os resultados são, qualitativamente, os mesmos (Medeiros, 2001).

Bernardes (1996) propôs uma versão sexuada para o modelo Penna, em que a população passa a ser constituída de machos e fêmeas e cada indivíduo é definido como um organismo "diplóide". Neste caso, o conceito de posições dominantes e recessivas é introduzido. Mais tarde, Stauffer et al. (1996) propôs

uma modificação na forma de determinar as posições dominantes e recessivas, que será explicada posteriormente.

Vários estudos relativos à teoria evolutiva foram bem explicados pelo modelo Penna. Atualmente, é possível encontrar, na literatura especializada, uma grande quantidade de trabalhos baseados nesse modelo, tais como: previsão da esperança de vida humana (Laszkiewicz et al., 2003), o estudo de microevolução na população de cabras das Ram Mountain (Brigatti et al., 2005), simulação da competição entre idiomas (Schwammle, 2005) e simulação da dinâmica populacional do pulgão-do-algodoeiro (Giarola et al., 2006). Outras aplicações podem ser encontradas em Moss de Oliveira et al. (1999).

Embora o modelo Penna tenha sido idealizado para a implementação em computadores, alguns estudos analíticos já foram realizados (Brigatti et al., 2004; Coe & Mao, 2004; Pizza, 1997).

2.2.1 Modelo Penna assexuado

Na sua forma mais simples, aquela que descreve populações assexuadas e "haplóides" (Penna, 1995), cada indivíduo de uma população de tamanho $N(t)$, sendo t uma etapa temporal, é representado por uma palavra computacional de B bits, a qual é interpretada como o seu "genótipo".

Esta palavra contém informações de quando o efeito de uma mutação deletéria 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 "etapa do tempo de vida do indivíduo" (hora, dia, mês, ano, etc.) e o mesmo poderá sobreviver, no máximo, até a idade $B - 1$. Assim, a idade é uma variável discreta que varia de 0 a $B - 1$ etapas temporais. 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 etapas seguintes da sua vida. Um indivíduo certamente morrerá quando o número de mutações deletérias até a sua idade atual atingir um limiar T .

Os indivíduos (considerados todos fêmeas) que possuem idade igual ou maior que a idade mínima de reprodução (R) poderão gerar B filhos, inclusive nesta idade. Tal geração é obtida por intermédio de uma cópia da tira da mãe onde são introduzidas M mutações em bits diferentes, escolhidos aleatoriamente, ou seja, o "genótipo" de cada filho difere do "genótipo" da mãe por, no máximo, M bits selecionados aleatoriamente (Figura 1.4). Se um bit, dentre os M escolhidos, for zero no "genótipo" da mãe, ele passará a ser 1 no "genótipo" do filho. Por outro lado, se for 1 no "genótipo" da mãe, ele permanecerá 1 no "genótipo" do filho. Dessa forma, apenas mutações prejudiciais são consideradas.

Idade	31	...	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Mãe	0	...	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Filho	0	...	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0

FIGURA 1.4: Tira de 32 bits representando o "genótipo" da mãe e a tira herdada pelo filho, com uma mutação deletéria escolhida em um bit aleatório (idade quatro). Os bits setados em 1 representam mutações deletérias e os bits setados em 0 ausência de mutações.

Para evitar a explosão populacional, é incluído um fator de regulação do tamanho da população que modela as restrições ambientais, tais como espaço e alimento. Esse fator, chamado fator de Verhulst, é uma probabilidade de morte dependente da densidade da população em cada etapa temporal t . Assim, o indivíduo que não tiver morrido pelo acúmulo de mutações poderá envelhecer e sobreviver à etapa temporal seguinte, com uma probabilidade dada por:

$$P(t) = 1 - \frac{N(t)}{N_{max}}, \quad (1.1)$$

sendo $N(t)$ o tamanho da população no tempo t e N_{max} a capacidade de carga do ambiente, ou seja, o número máximo de indivíduos que o ambiente suporta devido às restrições de espaço e alimento. Após todos os indivíduos terem sido testados para reprodução e morte, uma etapa temporal é concluída.

2.2.2 Modelo Penna sexuado

A versão sexuada do modelo Penna (Bernardes, 1996) é uma adaptação da versão assexuada, sendo considerado os mesmos passos: nascimento, reprodução, morte por acúmulo de mutações e pelo fator de Verhulst. A diferença entre as duas versões está na representação do "genótipo" dos indivíduos, na forma de reprodução e contagem do número acumulado de mutações deletérias.

A população, agora, é constituída de machos e fêmeas e cada indivíduo é definido como um organismo "diplóide" cujos "genótipos" são representados por duas palavras computacionais de B bits. Uma palavra contém a informação oriunda da mãe e a outra, do pai.

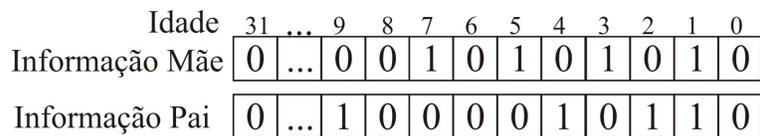


FIGURA 1.5: Duas tiras de 32 bits representando o "genótipo" de um indivíduo "diplóide".

Tal como na versão assexuada, é contado, até a idade atual do indivíduo, o número acumulado de mutações deletérias. Esta contagem é feita em paralelo, pois uma dada idade corresponde a 2 bits, um de cada palavra computacional. Para efeito de contagem das mutações deletérias, é introduzido o conceito de mutações dominantes e recessivas. Assim, se uma dada posição no "genótipo" for domi-

nante, para efeito de contagem, basta que 1 apareça em somente uma das palavras em paralelo, caso contrário, se for recessivo, é necessário que apareça 1 em ambas as palavras em paralelo. Se esse número for igual a T (número máximo de mutações deletérias), então o indivíduo certamente morrerá.

Existem, pelo menos, duas estratégias para determinar se uma dada posição é dominante ou não. Segundo Bernardes (1996), cada posição tem uma probabilidade h , previamente definida de ser dominante, variando no intervalo $(0, 1)$. Na versão de Stauffer et al. (1996) é criada uma palavra extra, contendo bits 1 somente nas posições dominantes escolhidas aleatoriamente no início da simulação. Segundo Moss de Oliveira et al. (1999), ambas as estratégias fornecem resultados similares.

A reprodução acontece de forma similar ao modelo assexuado. Apenas as fêmeas que tiverem idade igual ou superior à idade mínima de reprodução, R , podem gerar b filhos. Assim, uma fêmea apta à reprodução seleciona, para acasalamento um macho com idade igual ou superior a R . O "genótipo" do filho é construído por meio do cruzamento e da recombinação das tiras dos pais conforme figura 1.6. Primeiro, é efetuada uma operação denominada "*crossing over*", em que o "genótipo" da mãe é cortado em uma posição aleatória, produzindo quatro tiras. Duas partes complementares, pertencentes a palavras computacionais diferentes, são escolhidas para dar forma a dois "gametas" femininos. Um deles será selecionado aleatoriamente para ser passado ao filho. O mesmo ocorre com o "genótipo" do pai, gerando o "gameta" masculino que irá compor a segunda palavra computacional do "genótipo" do filho. Após isso, M mutações deletérias são introduzidas aleatoriamente. Assim, o "genótipo" do filho é o resultado da união dos dois "gametas" e o sexo é aleatoriamente escolhido, com 50% de chance para cada um.

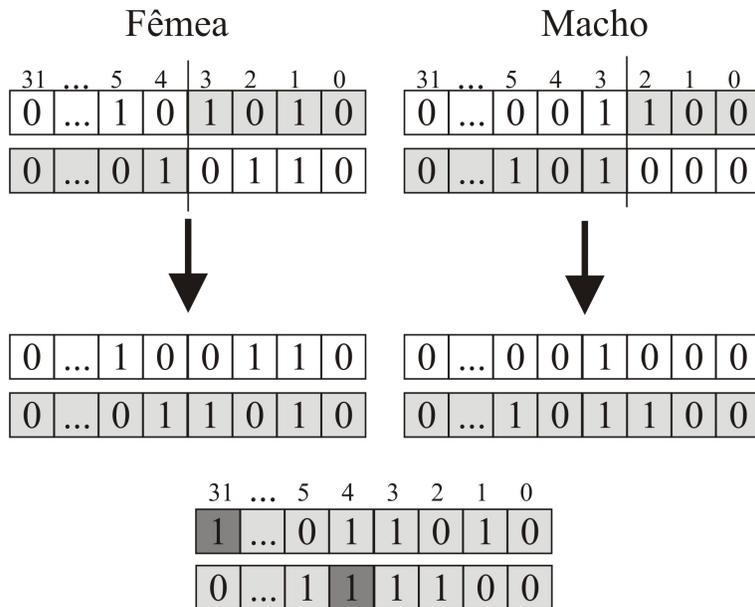


FIGURA 1.6: Representação da reprodução na versão sexuada do modelo Penna. Os genótipos diplóides da fêmea e do macho atravessam o processo de cruzamento e recombinação formando dois pares de gametas haplóides (branco e cinza). Na segunda passagem, é escolhido um dos gametas haplóide e introduzidas mutações deletérias (bits com cor cinza escuro), formando, assim, o genótipo do filho.

2.2.3 Principais características do modelo Penna

Para mostrar as principais características do modelo Penna, são apresentados alguns resultados de uma simulação realizada para uma população assexuada, considerando uma população inicial com todos os bits do "genótipo" setados em 0. Os parâmetros do modelo assumiram os seguintes valores:

- $N_0 = 10.000$ (tamanho inicial da população);
- $N_{max} = 100.000$ (capacidade de carga do ambiente);

- $R = 8$ (idade mínima de reprodução);
- $B = 1$ (número de filhos);
- $M = 1$ (número de mutações);
- $T = 1$ (limite de mutações deletérias).

Na Figura 1.7 observa-se a evolução temporal de uma população, em que nota-se um rápido aumento no número de indivíduos da população, após a primeira reprodução. Entretanto, nas primeiras etapas temporais seguintes, ocorre uma queda no tamanho populacional, devido ao fato de uma grande parcela da população atingir, rapidamente, o limiar de doenças T , por terem um grande número de bits setados em 1 nas primeiras posições de seus "genótipos".

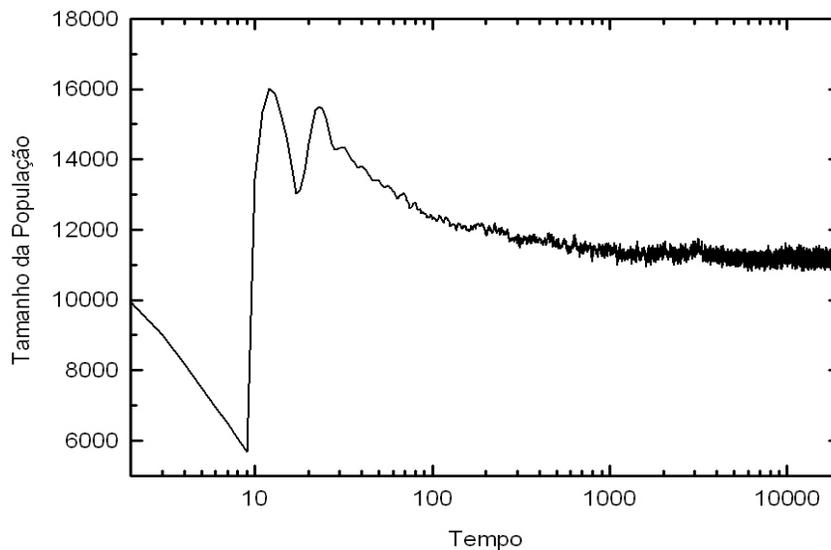


FIGURA 1.7: Evolução temporal do tamanho populacional para uma simulação do modelo Penna, considerando os parâmetros $N_0 = 10.000$, $N_{max} = 100.000$, $R = 8$, $B = 1$, $M = 1$, $T = 1$.

A população resultante desta fase é aquela que possui atributos "genéticos" que favorecem a reprodução, ou seja, indivíduos que possuem nenhum bit setado em 1 antes da idade mínima de reprodução, contribuindo para a manutenção da população e, por consequência, transmitindo seus "genótipos" a seus descendentes. Dessa forma, as mutações deletérias da população são fixadas nas posições finais de seus "genótipos" (Medeiros, 2001; Moss de Oliveira et al., 1999).

O acúmulo de mutações deletérias nas posições finais dos "genótipos" dos indivíduos reflete diretamente na sobrevivência da população, e assim, se torna interessante medir a taxa de sobrevivência a cada idade j , que se define pela expressão

$$S_j = \frac{N_{j+1,t+1}}{N_{j,t}} \quad (1.2)$$

sendo S_j a taxa de sobrevivência dos indivíduos na idade j ; $N_{j+1,t+1}$ o número de indivíduos com idade $j + 1$ na etapa temporal $t + 1$ e $N_{j,t}$ número de indivíduos com idade j na etapa temporal t .

Na Figura 1.8 são apresentadas as taxas de sobrevivência ao longo do tempo. Pode-se verificar que, a partir de $t = 6000$, a taxa de sobrevivência permanece constante no tempo. As proporções de indivíduos pertencentes a diferentes grupos etários permanecem constantes através do tempo, ou seja, a população atinge uma distribuição etária estável, indicando que a população atingiu o regime estacionário (Medeiros, 2001).

Na Figura 1.9 verifica-se que a taxa de sobrevivência é aproximadamente constante, até a idade mínima de reprodução ($R = 8$), quando começa a decair rapidamente, indicando a presença do envelhecimento no modelo.

Todas as características apresentadas para o modelo na versão assexuada se estendem ao modelo na versão sexuada (Moss de Oliveira et al., 1999).

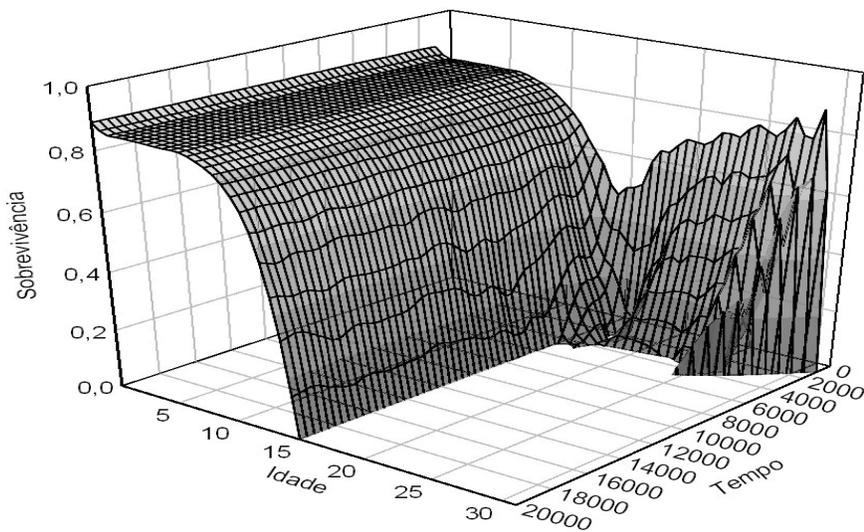


FIGURA 1.8: Curvas de sobrevivência ao longo do tempo, obtidas de dados da simulação com modelo Penna, considerando os parâmetros $N_0 = 10.000$, $N_{max} = 100.000$, $R = 8$, $B = 1$, $M = 1$, $T = 1$.

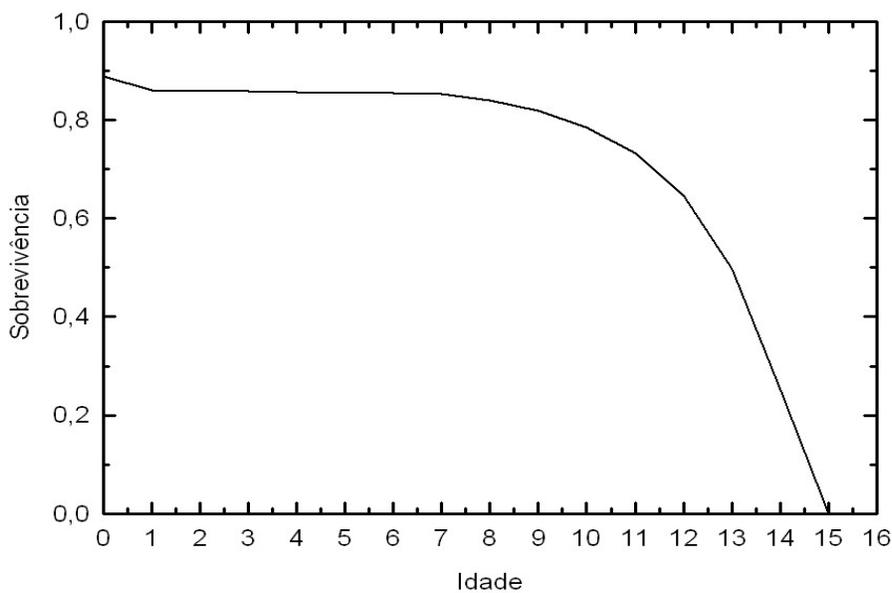


FIGURA 1.9: Curva de sobrevivência obtida de dados da simulação com modelo Penna, considerando os parâmetros $N_0 = 10.000$, $N_{max} = 100.000$, $R = 8$, $B = 1$, $M = 1$, $T = 1$. Observa-se um decaimento na probabilidade de sobrevivência, indicando a presença do envelhecimento da população a partir da idade reprodutiva R .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUÁRIO BRASILEIRO DO CAFÉ 2005. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2005. 136 p.
- BERNARDES, A. T. Strategies for reproduction and ageing. **Annalen der Physik**, Heidelberg, v. 5, n. 6, p. 539-550, 1996.
- BRIGATTI, E.; SÁ MARTINS, J. S.; RODITI, I. Scaling properties of the Penna model. **The European Physical Journal B**, New York, v. 42, n. 3, p. 431-434, Dec. 2004.
- BRIGATTI, E.; SÁ MARTINS, J. S.; RODITI, I. Sharp gene pool transition in a population affected by phenotype-based selective hunting. **The European Physical Journal B**, New York, v. 45, n. 4, p. 529-532, June 2005.
- COE, J. B. e MAO, Y. Population dynamics in the Penna model. **Physica Review E**, College Park, v. 69, n. 041907, Abr. 2004.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.
- GIAROLA, L. T. P.; MARTINS, S. G. F.; TOLEDO COSTA, M. C. P. 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, Ago. 2006.
- KATIYAR, K, P.; FERRER, F. Technique biology and sterelization of the coffee

- leaf miner, *Leucoptera coffeella* Guér (Lepidoptera-Lyonetiidae). In: **International Atomic Energy Agency, Viena**, p. 165-175, 1968.
- LASZKIEWICZ, A.; SZYMCZAK, S. Z.; CEBRAT, S. Prediction of the human life expectancy. **Theory in Biosciences**, Jena, v. 122, n. 4, p. 313-320, Dec. 2003.
- MEDEIROS, N. G. F. **Modelos evolucionários de envelhecimento biológico**. 2001. 119 p. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física de São Carlos, São Carlos.
- MOSS DE OLIVEIRA, S.; DE OLIVEIRA, P. M. C.; STAUFFER, D. **Evolution, money, war and computers**. B. G. Stuttgart/Leipzig: Teubner, 1999. v. 1.
- PARRA, J. R. P. **Bioecologia de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Meneville, 1842) (Lepidoptera-Lyonetiidae) em condições de campo**. 1975. 114 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- PARRA, J. R. P. **Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Meneville, 1842) (Lepidoptera-Lyonetiidae), visando ao seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo**. 1981. 96 p. Tese de Livre Docência, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- PECK, S. L. A tutorial for understaging ecological modeling papers for the non-modeler. **American Entomologist**, Lonhan, v. 46, n. 1, p. 40-49, 2000.
- 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, Mar. 1995.
- PIZZA, A. F. R. T. Dynamics of the bit-string model of age structured population.

- Physica A - Statistical Mechanics and Its Applications**, Amsterdam, v. 242, n. 1/2, p. 195-218, Aug. 1997.
- REIS, P. R.; SOUZA, J. C. Influência das condições de tempo sobre a população de insetos e acáros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 25-30, jun. 1986.
- ROSE, M. R. **Evolutionary biology of aging**. Oxford: Oxford University Press, 1991.
- SCHWAMMLE, V. Simulation for competition of languages with an ageing sexual population. **International Journal of Modern Physics C**, Singapore, v. 16, n. 10, p. 1519-1526, Oct. 2005.
- SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; RIGITANO R. L. O. **Bicho mineiro: biologia, danos e manejo integrado**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1998.
- SPPER, M. Observações relativas à biologia do bicho-mineiro das folhas do cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Buccolatricidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 19, p-31-47, 1949.
- STAUFFER, D.; DE OLIVEIRA, P. M. C.; MOSS DE OLIVEIRA, S; ZORZON DOS SANTOS, R. M. Monte Carlo simulations of sexual reproduction. **Physica A - Statistical Mechanics and Its Applications**, Amsterdam, v. 231, n. 4, p. 504-514, Out. 1996.
- WALKER, D. W.; QUINTANA, V. Mating and oviposition behavior of the coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella*. **Proceedings of the Entomological Society**, Washington, V. 71, P. 88-90, 1969.

CAPÍTULO 2

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA DINÂMICA POPULACIONAL DO BICHO-MINEIRO DO CAFEEIRO MANTIDO EM TEMPERATURAS CONSTANTES

RESUMO

OLIVEIRA, Anderson Castro Soares de. Simulação computacional da dinâmica populacional do bicho-mineiro do cafeeiro mantido em temperaturas constantes. 2007. Cap. 2. p. 23-48. **In: Simulação computacional da dinâmica populacional do bicho-mineiro do cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), utilizando a versão sexuada do modelo Penna.** 2007. 83 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Foram realizadas simulações computacionais da dinâmica populacional do bicho-mineiro do cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), utilizando-se o modelo Penna para envelhecimento biológico, em sua versão sexuada (Bernardes, 1996). Para isso, foram utilizados dados biológicos obtidos em laboratório às temperaturas de $20^{\circ}C$, $27^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$ (Parra, 1981). Os resultados indicam que a simulação é capaz de reproduzir características importantes relacionadas à dinâmica populacional desta praga.

*Comitê Orientador: Solange Gomes Faria Martins (Orientadora) – UFLA e Mauricio Sergio Zacarias (Co-orientador) – EMBRAPA

ABSTRACT

OLIVEIRA, Anderson Castro Soares de . Computational simulation of the populational dynamics coffee leaf-miner kept in constant temperatures. 2007. Chap. 2. p. 23-48.**In: Computational simulation of the population dynamics of coffee leaf-miner, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), employing the sexual version of the Penna model.** 2007. 83 p. (Master Dissertation in Statistics and Agricultural Experimentation). Federal University of Lavras, Lavras, MG. *

Some computational simulations of the population dynamics of coffee leaf-miner (*Leucoptera coffeella*) (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) were carried out utilizing the Penna Model (Bernardes, 1996) for biological aging in its sexual version. To this goal, we utilized biological data obtained in laboratory at the temperatures of $20^{\circ}C$, $27^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$ (Parra, 1981). The results show that the simulation is able to reproduce important features related to the population dynamics of this pest.

*Guidance Committee: Solange Gomes Faria Martins (Major Professor) – UFLA e Mauricio Sergio Zacarias (Co-adviser) – EMBRAPA

1 INTRODUÇÃO

O bicho-mineiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842), cuja presença foi constatada no Brasil a partir de 1851, constitui uma das mais importantes pragas do cafeeiro em razão dos prejuízos econômicos causados por esse inseto na produção de café. O bicho-mineiro é uma praga monófaga que ataca somente o cafeeiro. Seu ciclo biológico varia, em média, de 19 a 87 dias (ovo: 5-21 dias, larva: 9-40 dias e pupa 5-26 dias) e a longevidade média dos adultos é de 15 dias. Em condições normais o número de gerações anuais varia 8 a 12 (Gallo et al., 2002; Souza et al., 1998).

Várias pesquisas de laboratório e de campo têm sido desenvolvidas na tentativa de compreender a dinâmica populacional desta espécie. Por meio destas pesquisas, verificou-se que a temperatura é um fator climático que influencia o tempo de desenvolvimento à fase adulta, a fecundidade, a longevidade, a taxa de reprodução, o período de oviposição e o número de gerações anuais (Katiyar & Ferrer, 1968; Parra, 1981; Reis & Souza, 1986; Speer, 1949).

Dada a importância de entender a dinâmica populacional do bicho-mineiro e de traçar planos e estratégias de controle, é proposto, neste trabalho, um modelo para a dinâmica populacional desta praga, usando dados experimentais relatados no trabalho de Parra (1981). Considerando a necessidade de uma estrutura etária, utilizou-se o modelo Penna em sua versão sexuada (Bernardes, 1996).

2 METODOLOGIA

Para simulação da evolução temporal de uma população de bicho-mineiro do cafeeiro submetida a diferentes temperaturas e com estrutura etária, utilizou-se o modelo Penna em sua versão sexuada (Bernardes, 1996), tendo em vista ser esta a forma de reprodução desta praga. Posições dominantes e recessivas foram consideradas como proposto por Stauffer et al. (1996).

Considerou-se uma população de indivíduos "diplóides", constituída de 50% de machos e 50% de fêmeas. Os "genótipos" dos indivíduos, definidos ao nascer, foram representados por oito palavras computacionais de 32 bits, dispostas em duas tiras em paralelo, cada qual contendo quatro palavras computacionais. Cada indivíduo pode então viver no máximo até a idade de 127 dias.

Em cada simulação, os indivíduos da população foram testados para reprodução, envelhecimento e morte. Após ter alcançado a idade mínima de reprodução R , a fêmea que foi fecundada uma única vez escolhe, aleatoriamente, um macho com idade igual ou maior que R para gerar B ovos (assumiu-se uma probabilidade de 100% para a reprodução). Ao modelo tradicional foram acrescentados os períodos de pré-oviposição (PRE) e oviposição (PO). O primeiro estabelece o período que antecede o início da postura de ovos pela fêmea fecundada. O segundo se refere ao período durante o qual irão ocorrer as oviposições, compreendendo o intervalo entre a primeira e a última postura. A cada dia deste período, a fêmea põe b ovos, sendo

$$b = \frac{B}{PO}. \quad (2.1)$$

Foram realizadas simulações considerando-se duas estratégias para oviposição. Na primeira, toda fêmea fecundada oviposita com probabilidade de oviposição de 100%, para as três temperaturas. Na segunda, cada fêmea fecundada

oviposita com uma probabilidade dependente da temperatura, como apresentado na Tabela 2.1.

TABELA 2.1: Probabilidade de oviposição de fêmeas de bicho-mineiro do cafeeiro, de acordo com a temperatura (Parra, 1981).

Temperatura	Probabilidade de oviposição
$20^{\circ}C$	33%
$27^{\circ}C$	93%
$30^{\circ}C$	66%

A obtenção do "genótipo" dos futuros filhos, lagartas eclodidas, ocorre da mesma forma que no modelo tradicional, por meio do cruzamento e da recombinação das tiras dos pais. Entretanto, cada mutação deletéria é introduzida em apenas um dos "gametas", ou seja, com uma probabilidade de 50% de ser introduzida no "gameta" da mãe ou do pai.

Para a contagem do número de mutações deletérias ativas até a idade atual, consideraram-se todas as posições recessivas, isto é, uma mutação deletéria é efetiva somente se aparecer 1 em posições correspondentes de ambas as palavras em paralelo. Assim, se o indivíduo possuir um número de mutações deletérias menor que o limiar T , então, o indivíduo sobreviverá com uma probabilidade dada pelo fator de Verhulst. Os indivíduos que estiverem na fase de ovo não sofrem ação deste fator, morrendo apenas pelo acúmulo de mutações deletérias.

Os parâmetros do modelo dependentes da temperatura assumiram valores de acordo com dados experimentais obtidos por Parra (1981). Estes parâmetros são apresentados na Tabela 2.2.

TABELA 2.2: Parâmetros do modelo em função da temperatura, conforme dados experimentais (Parra, 1981). R , PRE , PO e DOV são expressos em dias.

Parâmetros	20°C	27°C	30°C
Idade mínima de reprodução (R)	44	20	18
Fecundidade (B)	10	61	10
Período de pré-oviposição (PRE)	3	1	1
Período de oviposição (PO)	11	19	2
Duração da fase de ovo (DOV)	10	5	4

Os outros parâmetros do modelo, os quais independem da temperatura, assumiram, em nossas simulações, os seguintes valores:

- $N_0 = 10.000$ (tamanho inicial da população: 50% machos e 50% fêmeas);
- $N_{max} = 100.000$ (capacidade de carga do ambiente);
- $M = 4$ (número de mutações);
- $T = 4$ (limite de mutações deletérias).

Os valores dos parâmetros N_0 e N_{max} foram escolhidos aleatoriamente, sendo que, tipicamente, N_{max} é 10 vezes maior que a população inicial N_0 . Os parâmetros M e T foram obtidos por tentativa, estabelecendo-se valores arbitrados, de modo que cominando-os obtiveram-se curvas de sobrevivência adequadas.

Com esses parâmetros, a dinâmica da população seguiu as regras simples do modelo Penna. As simulações foram realizadas até 100.000 etapas temporais (dias). Para cada temperatura, foram medidas algumas características da população, tais como, tamanho populacional, taxa intrínseca de crescimento e taxas de sobrevivência, tendo os cálculos sido efetuados desprezando-se as primeiras 60.000 etapas temporais (tempo necessário para atingir o regime estacionário).

2.1 Tamanho populacional

No estudo da dinâmica de populações, é importante conhecer a evolução temporal do tamanho da população. Assim, para cada etapa temporal t , foi determinado o tamanho populacional N_t . No intuito de determinar periodicidades eventuais presentes na série temporal do tamanho da população, bem como a amplitude destas periodicidades, foi calculada a função de autocorrelação e a transformada de Fourier da série.

Ao final da simulação, para cada temperatura, foi determinada a média do tamanho populacional (\bar{N}), bem como seu intervalo de confiança.

2.2 Taxa intrínseca de crescimento

Uma característica importante da população a ser mediada é a capacidade de aumentar em número por meio da reprodução. Segundo Odum (1988), a taxa específica de crescimento (r) de uma população depende de sua composição etária, podendo haver vários valores para uma mesma espécie. Entretanto, se em uma população existir uma distribuição etária estacionária e estável, com condições ideais, a taxa específica de crescimento é máxima e é chamada de taxa intrínseca de crescimento (r_m).

Outro parâmetro de aumento populacional, chamado de taxa finita de aumento (λ), representa o fator de crescimento da população por geração ou por outro período específico. Existe a seguinte relação entre a taxa intrínseca de crescimento (r_m) e a taxa finita de aumento (λ)

$$r_m = \ln(\lambda) \quad \text{ou} \quad \lambda = \exp(r_m). \quad (2.2)$$

Segundo Bernardes et al. (1998), a dinâmica do modelo Penna pode ser

representada como uma aproximação do modelo logístico discreto dado pela equação

$$N_{t+1} = \lambda_t N_t \left[1 - \frac{N_t}{N_{max}} \right] \quad (2.3)$$

em que N_t é o tamanho da população no tempo t ; N_{max} a capacidade de carga do ambiente e λ_t a taxa de aumento da população no tempo t .

Da equação 2.3, define-se a taxa de aumento da população para cada tempo t (Odum, 1988), como:

$$\lambda_t = \frac{N_{t+1}}{N_t \left[1 - \frac{N_t}{N_{max}} \right]} \quad (2.4)$$

Dessa forma, para cada tempo t , foi determinada uma taxa de aumento da população (λ_t). Ao final da simulação, foi determinado o seu valor médio, que coincide com a taxa finita de aumento λ . Assim, a partir da equação 2.2 obtém-se a taxa intrínseca de crescimento.

2.3 Curvas de sobrevivência

As curvas de sobrevivência são ferramentas importantes para a compreensão da dinâmica populacional de uma espécie. Para construir as curvas de sobrevivência, a taxa de sobrevivência para cada idade j , foi calculada a partir da equação

$$S_j = \frac{N_{j+1,t+1}}{N_{j,t}} \quad (2.5)$$

sendo S_j a taxa de sobrevivência dos indivíduos na idade j ; $N_{j+1,t+1}$ o número de indivíduos com idade $j + 1$ no tempo $t + 1$ e $N_{j,t}$ o número de indivíduos com idade j no tempo t .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Probabilidade de oviposição independente da temperatura

3.1.1 Tamanho populacional

Os tamanhos médios das populações de bicho-mineiro para as temperaturas de $20^{\circ}C$, $27^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$ podem ser vistos na Tabela 2.3. Verifica-se que a população atinge o maior valor a $27^{\circ}C$ e o menor a $20^{\circ}C$. Na temperatura de $30^{\circ}C$, observa-se uma redução no valor médio do tamanho da população, comparado àquele obtido a $27^{\circ}C$. Dessa forma, constata-se que, entre as temperaturas testadas, $27^{\circ}C$ é a mais favorável ao desenvolvimento populacional do bicho-mineiro, estando de acordo com os resultados experimentais obtidos por Parra (1981).

TABELA 2.3: Tamanhos médios da população de bicho-mineiro do cafeeiro (número médio de indivíduos $\pm \delta$) obtidos na simulação (δ : semi-amplitude do intervalo de 95% de confiança).

Temperatura	Tamanho médio da população
$20^{\circ}C$	$2.084,96 \pm 18,39$
$27^{\circ}C$	$11.320,90 \pm 137,08$
$30^{\circ}C$	$10.162,40 \pm 277,46$

Na Figura 2.1 é apresentada a evolução temporal do tamanho da população do bicho-mineiro submetida às temperaturas de 20° , 27° e $30^{\circ}C$. Pode-se observar que, a $30^{\circ}C$, ocorre a maior flutuação no tamanho populacional e a $20^{\circ}C$ a menor. A amplitude da flutuação populacional está diretamente relacionada ao número médio de ovos, a cada dia de oviposição

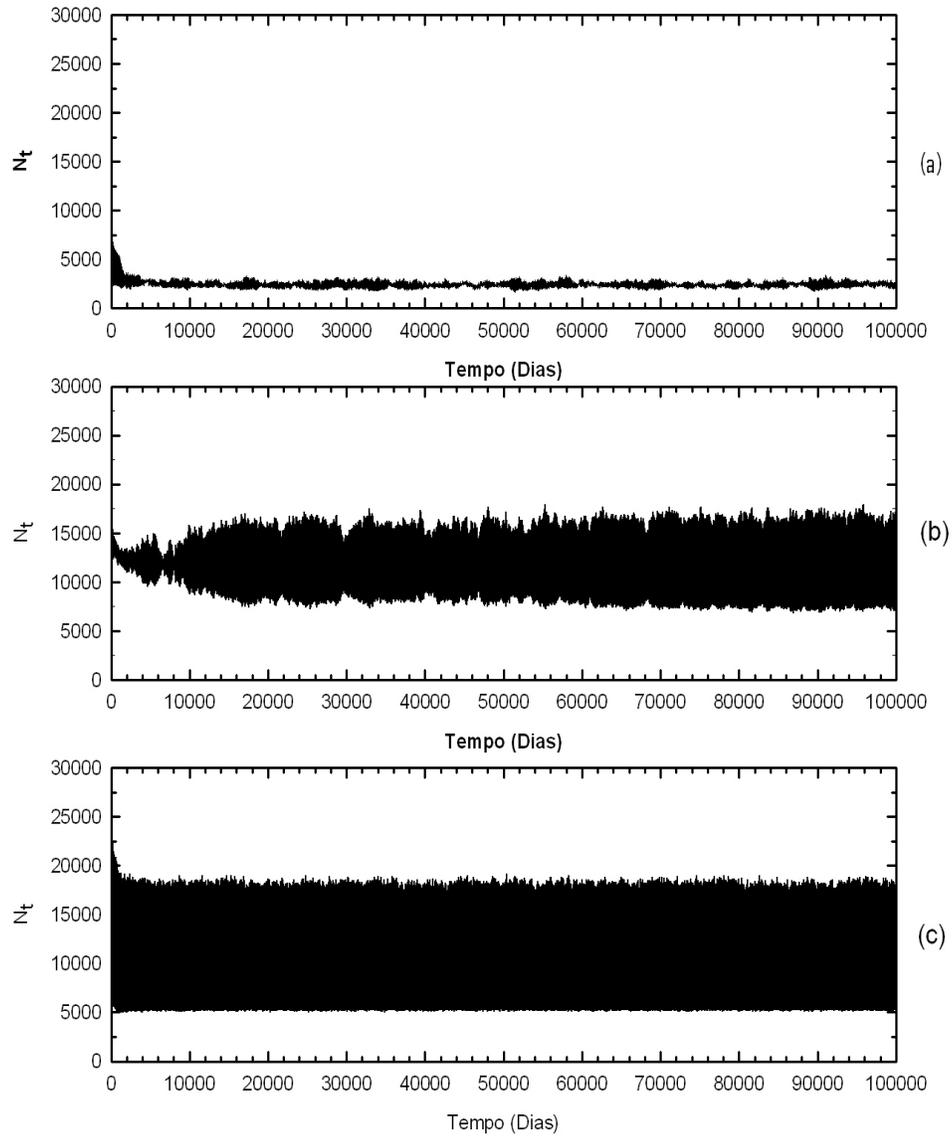


FIGURA 2.1: Evolução temporal do tamanho da população de bicho-mineiro do cafeeiro, nas temperaturas de 20°C (a), 27°C (b) e 30°C (c).

Observando a Tabela 2.4, verifica-se que, na temperatura de $30^{\circ}C$, ocorre o maior número médio de ovos por dia de oviposição e, na temperatura de $20^{\circ}C$, o menor. Assim, pode-se concluir que o aumento na amplitude da flutuação populacional, à medida que a temperatura aumenta, como observado na Figura 2.1, está relacionado ao aumento do número de ovos por dia de oviposição.

TABELA 2.4: Número médio de ovos por fêmea de bicho-mineiro a cada dia de oviposição.

Temperatura	b
20°	1
27°	3
30°	5

Na Figura 2.2 é apresentada a função de autocorrelação (ξ) do tamanho da população do bicho-mineiro e o espectro de Fourier desta função ($\mathcal{F}(\xi)$), nas temperaturas de 20° , 27° e $30^{\circ}C$. Pode-se observar que a função de autocorrelação tende a zero, à medida que o tempo aumenta. Assim, de acordo com Ferrara & Prado (1995), a série temporal do tamanho populacional não apresenta comportamento periódico, ou seja, não se repete dentro de intervalos finitos de tempo.

De fato, observando-se o espectro de Fourier da função de autocorrelação ($F(\xi)$), verifica-se um regime não periódico, caracterizado por flutuações aleatórias superpostas a componentes periódicas.

Pela inspeção visual da evolução temporal do tamanho populacional (Figura 2.3), verifica-se, que para um pequeno intervalo de tempo a série apresenta um comportamento aproximadamente periódico. Por meio do espectro de Fourier, observam-se duas frequências bem definidas nas temperaturas de $20^{\circ}C$ e $27^{\circ}C$, e quatro frequências na temperatura de $30^{\circ}C$, indicando a presença de componentes periódicas na série temporal (Ferrara & Prado, 1995).

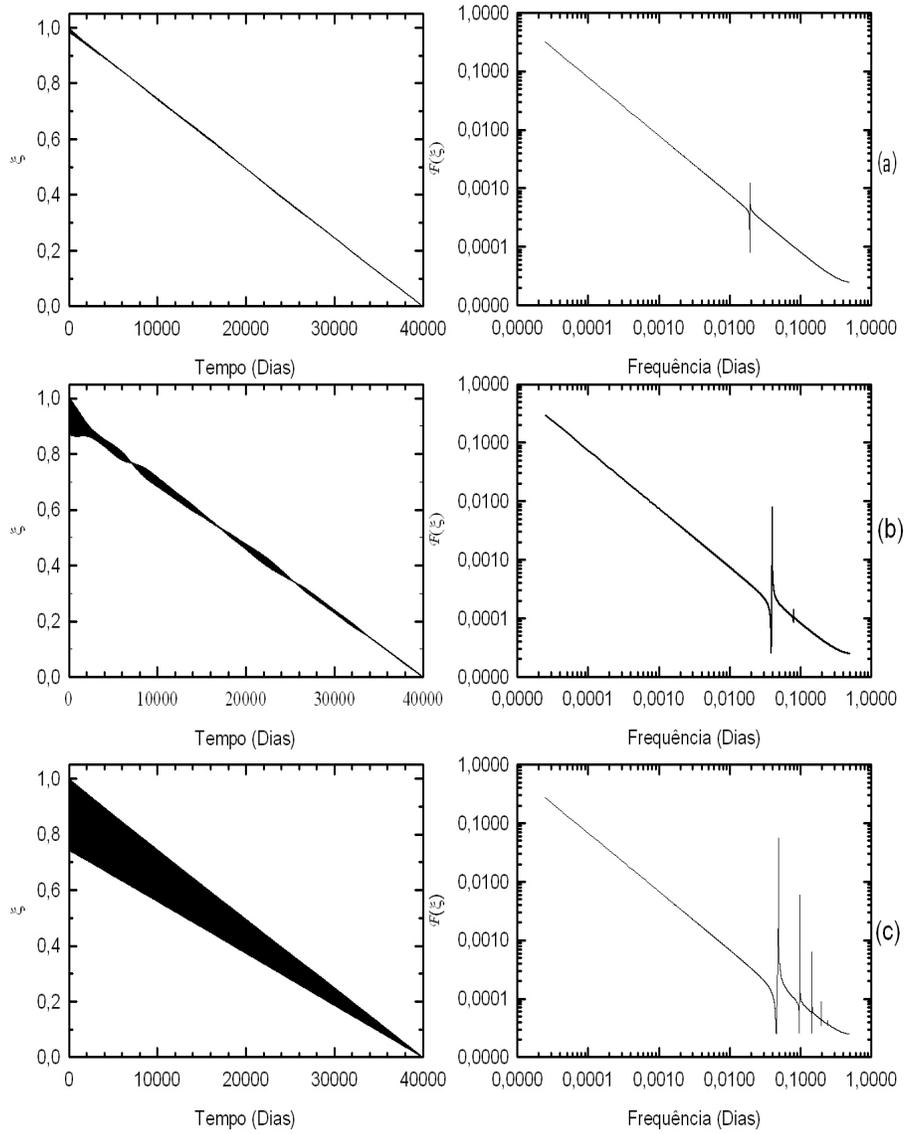


FIGURA 2.2: Função de autocorrelação (ξ) do tamanho da população de bichomineiro do cafeeiro e espectro de Fourier da função de autocorrelação ($\mathcal{F}(\xi)$), nas temperaturas de 20°C (a), 27°C (b) e 30°C (c).

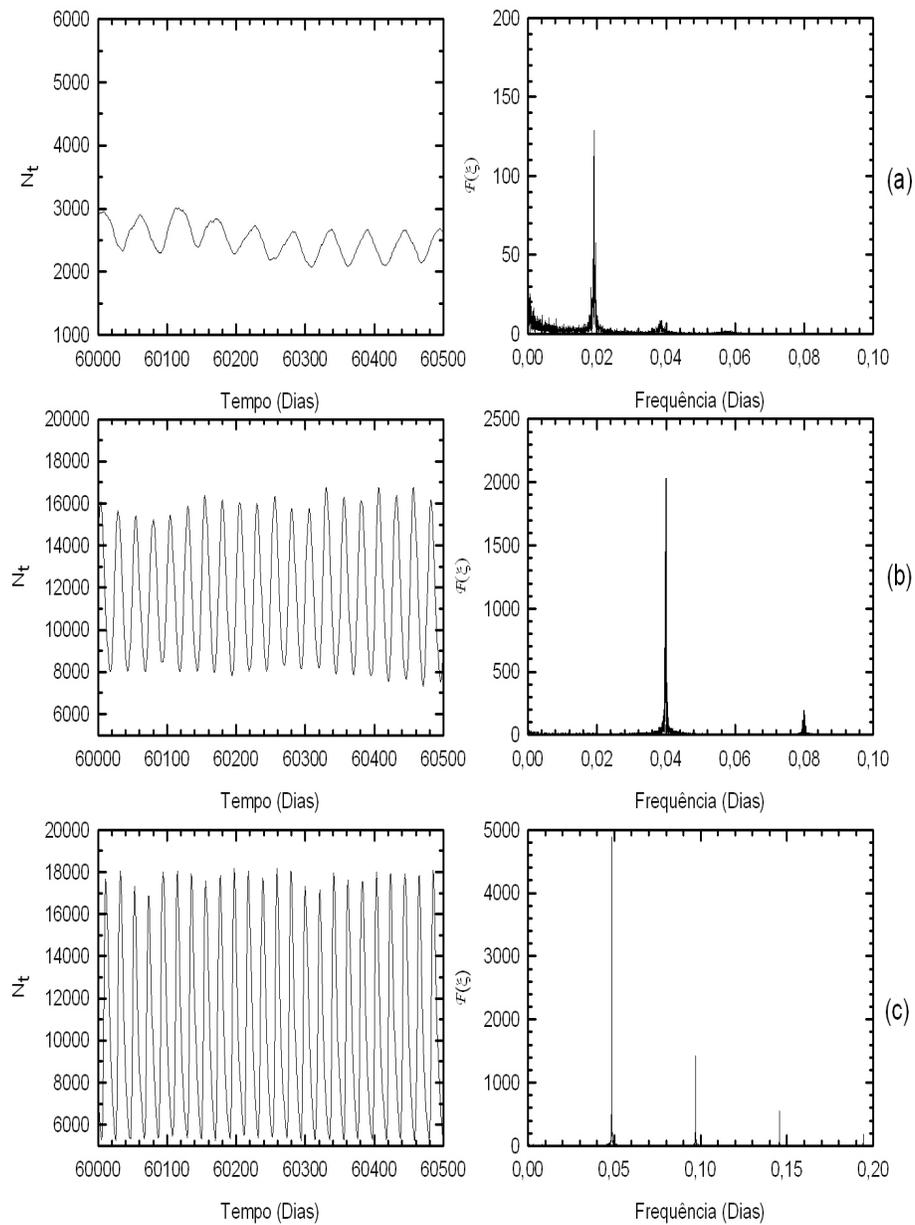


FIGURA 2.3: Evolução temporal do tamanho da população de bicho-mineiro do cafeeiro, de $t = 60.000$ a $t = 60.500$, e seu espectro de Fourier nas temperaturas de 20°C (a), 27°C (b) e 30°C (c).

A frequência (f) é um termo empregado para indicar a repetição de qualquer fenômeno em um período de tempo (T). Assim podemos medir o tempo decorrido para a ocorrência do evento por meio da relação

$$T = \frac{1}{f}$$

Na Tabela 2.5 são apresentados dois períodos de oscilação da série temporal do tamanho populacional de bicho-mineiro T_1 e T_2 . Pode-se observar que os períodos T_1 estão próximos da soma entre as idades mínimas de reprodução (R) e a duração de fase de ovo (DOV). Esta oscilação é provocada pela transformação de ovos em indivíduos regulados pelo fator de Verhulst.

TABELA 2.5: Períodos de oscilação da série temporal do tamanho populacional de bicho-mineiro

Temperatura	T_1	T_2	$R + DOV$
$20^\circ C$	52,0431	25,8868	54
$27^\circ C$	24,9369	12,4863	25
$30^\circ C$	20,6058	10,3014	22

Assim, pode-se concluir que a série temporal do tamanho populacional apresenta componentes periódicas, cujos períodos dependem da idade mínima de reprodução e da duração da fase de ovo excluída da competição pelo fator de Verhulst.

3.1.2 Taxa intrínseca de crescimento

A evolução temporal da taxa finita de aumento (λ_t), para as temperaturas de $20^\circ C$, $27^\circ C$ e $30^\circ C$, pode ser observada na Figura 2.4. Da mesma forma que no tamanho populacional, verifica-se que a maior amplitude de variação ocorre a $30^\circ C$, uma vez que λ_t e N_t são grandezas relacionadas (equação 2.4).

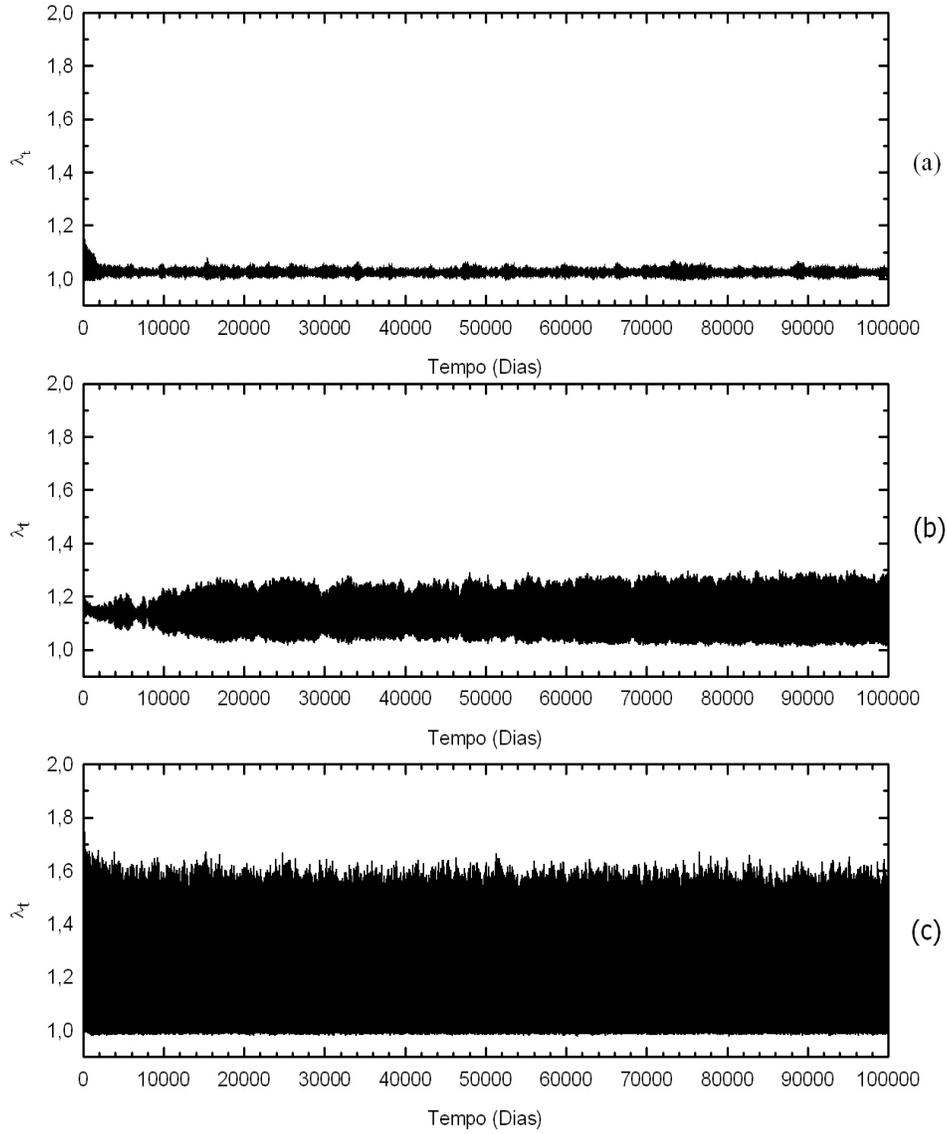


FIGURA 2.4: Evolução temporal da taxa finita de aumento (λ_t) da população de bicho-mineiro do cafeeiro, nas temperaturas de $20^{\circ}C$ (a), $27^{\circ}C$ (b) e $30^{\circ}C$ (c).

Na Tabela 2.6 são apresentados os valores médios das taxas finitas de aumento (λ) e as taxas intrínsecas de crescimento (r_m) obtidas na simulação na temperatura de $20^\circ C$, a taxa intrínseca de crescimento estabiliza-se em um tamanho menor, aumentando a $27^\circ C$ e diminuindo a $30^\circ C$. Os valores obtidos na simulação estão próximos dos obtidos por Parra (1981), nas temperaturas de $20^\circ C$ e $27^\circ C$. No entanto, não existe diferença significativa entre os valores obtidos nas temperaturas de $27^\circ C$ e $30^\circ C$, ao contrário do que se observa experimentalmente.

TABELA 2.6: Taxa finita de aumento (média $\pm\delta$) e taxa intrínseca de crescimento da população do bicho-mineiro do cafeeiro, obtidas por Parra (1981) e por meio de simulação (δ : semi-amplitude do intervalo de 95% de confiança).

Temp.	Taxa finita de aumento (λ)		Taxa intrínseca de crescimento (r_m)	
	experimental	simulação	experimental	simulação
$20^\circ C$	1,000	$1,026 \pm 0,0002$	0,00	0,03
$27^\circ C$	1,136	$1,136 \pm 0,0004$	0,13	0,13
$30^\circ C$	1,063	$1,133 \pm 0,0012$	0,06	0,12

3.1.3 Curvas de sobrevivência

Na Figura 2.5 são apresentadas as curvas de sobrevivência do bicho-mineiro obtidas para as temperaturas de $20^\circ C$, $27^\circ C$ e $30^\circ C$. Pode-se observar o decaimento da probabilidade de sobrevivência a partir das idades mínimas de reprodução (Tabela 2.2), o que indica o envelhecimento da população. Assim, verifica-se que o modelo é capaz de reproduzir as variações na longevidade, em função da temperatura. No entanto, não houve distinção entre as curvas de sobrevivência de fêmeas e machos, ou seja, o modelo implementado não prevê longevidades distintas como evidenciado experimentalmente.

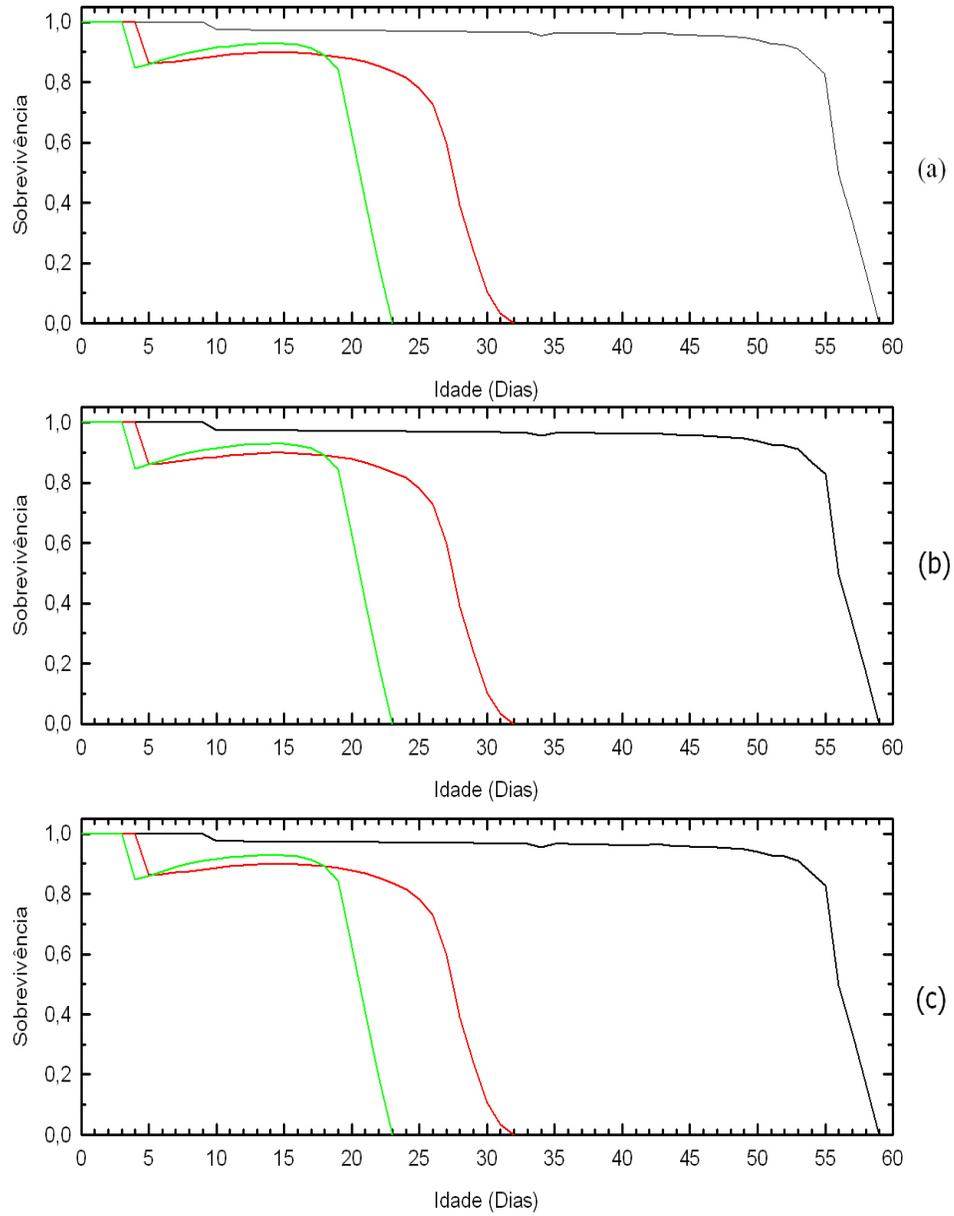


FIGURA 2.5: Curvas de sobrevivência do bicho-mineiro do cafeeiro: (a) população total, (b) população de machos e (c) população de fêmeas, nas temperaturas de $20^{\circ}C$ (preto), $27^{\circ}C$ (vermelho) e $30^{\circ}C$ (verde).

O fato de considerar longevidades distintas entre machos e fêmeas de bicho-mineiro é um aspecto conflitante, pois, na literatura consultada (Parra, 1981), evidenciou-se que fêmeas alimentadas vivem mais do que machos, ao contrário de Reyes (1973), que verificou longevidades maiores para machos.

A distinção nas longevidades entre machos e fêmeas, utilizando o modelo Penna, já foi constatada em alguns trabalhos. Esta foi conseguida, introduzindo-se uma taxa de mutação diferenciada para machos e fêmeas (Moss de Oliveira et al., 1999).

Pelos dados da Tabela 2.7 verifica-se que as longevidades obtidas na simulação estão dentro dos intervalos de confiança para as longevidades médias obtidas por Parra (1981), a partir de dados experimentais.

TABELA 2.7: Longevidades de machos e fêmeas de bicho-mineiro do cafeeiro obtidas experimentalmente (Parra, 1981) e por meio da simulação.

Temperatura	Fêmea		Macho	
	Experimental	Simulação	Experimental	Simulação
$20^{\circ}C$	$60 \pm 4,9$	59	$59 \pm 3,9$	59
$27^{\circ}C$	$35 \pm 3,6$	32	$32 \pm 4,1$	32
$30^{\circ}C$	$23 \pm 0,8$	23	$22 \pm 0,5$	23

3.2 Probabilidade dependente da temperatura

Para a temperatura de $20^{\circ}C$, não foi possível obter resultados, pois a população do bicho-mineiro se extingue devido ao pequeno número de indivíduos que entram na população, haja vista a baixa probabilidade de as fêmeas realizarem oviposição (Tabela 2.1).

3.2.1 Tamanho populacional

Na Tabela 2.8 são apresentados os tamanhos médios das populações do bicho-mineiro do cafeeiro, nas temperaturas de $27^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$, cujas probabilidades de oviposição são, respectivamente, 0,93 e 0,66. Para fins de comparação, são também apresentados os tamanhos médios das populações, com probabilidade de oviposição de 100%. Pode-se observar que, inserindo-se probabilidade de oviposição diferenciada houve uma redução no tamanho médio da população em ambas as temperaturas. A $27^{\circ}C$, a redução foi mínima, enquanto que, a $30^{\circ}C$, houve grande redução, ficando mais evidente a distinção no tamanho populacional entre as duas temperaturas.

TABELA 2.8: Tamanhos médios da população de bicho-mineiro do cafeeiro (média $\pm\delta$) obtidos na simulação com oviposição de 100% e com probabilidade de oviposição diferenciada, em função da temperatura (δ semi-amplitude do intervalo de 95% de confiança).

Temperatura	Tamanho médio da população	
	Oviposição 100%	Oviposição diferenciada
$27^{\circ}C$	11.320,90 \pm 137,08	11.244,06 \pm 23,83
$30^{\circ}C$	10.162,40 \pm 277,46	7.182,82 \pm 72,72

Na Figura 2.6 é apresentada a evolução temporal do tamanho da população do bicho-mineiro submetida às temperaturas de $27^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$, com probabilidade de oviposição de 100% e diferenciada. Pode-se observar que, considerando-se a probabilidade de oviposição diferenciada, ocorre grande redução na amplitude da flutuação do tamanho populacional, a $30^{\circ}C$, devido ao fato de a cada dia de oviposição, entrar um número menor de indivíduos. Isso porque apenas 66% das fêmeas realizam postura de ovos. Na temperatura de $27^{\circ}C$ também houve uma redução na amplitude, menor que a $30^{\circ}C$, pois, neste caso, 93% das fêmeas ovipositam.

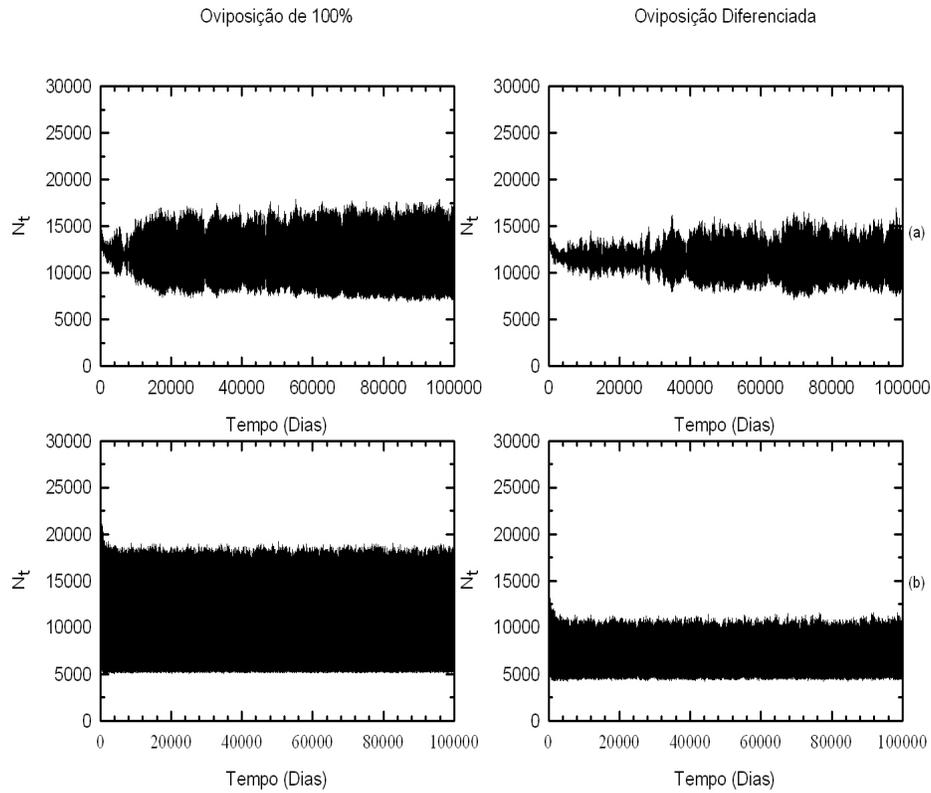


FIGURA 2.6: Evolução temporal do tamanho da população de bicho-mineiro do cafeeiro, nas temperaturas de $27^{\circ}C$ (a) e $30^{\circ}C$ (b), considerando probabilidade de oviposição de 100% e diferenciada.

3.2.2 Taxa intrínseca de crescimento

Os valores médios das taxas finitas de aumento obtidas experimentalmente e na simulação com oviposição de 100% e com oviposição diferenciada, nas temperaturas de $27^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$, são apresentados na Tabela 2.9. Inserindo probabilidades diferentes, pode-se observar que ocorre uma redução para ambas as temperaturas.

TABELA 2.9: Taxa finita de aumento (média $\pm\delta$) da população de bicho-mineiro do cafeeiro obtida experimentalmente e por simulação, com probabilidade de oviposição de 100% e diferenciada (δ : semi-amplitude do intervalo de 95% de confiança).

Temperatura	Taxa finita de aumento		
	Experimental	Simulação	
		Oviposição 100%	Oviposição diferenciada
27°C	1,136	1,136 \pm 0,0004	1,131 \pm 0,0004
30°C	1,063	1,133 \pm 0,0012	1,083 \pm 0,0006

Na Tabela 2.10 são apresentadas as taxas intrínsecas de crescimento (r_m) obtidas experimentalmente e na simulação, nas temperaturas de 27°C e 30°C, com oviposição de 100% e oviposição diferenciada. Pode-se observar que, considerando-se uma oviposição diferenciada, houve uma redução na taxa intrínseca de crescimento, para ambas as temperaturas, em relação às obtidas com probabilidade de 100%. No entanto, com a oviposição diferenciada foram obtidos resultados próximos aos experimentais (Parra, 1981), para ambas as temperaturas.

TABELA 2.10: Taxa intrínseca de crescimento obtida experimentalmente (Parra, 1981) e por simulação, com oviposição de 100% e com probabilidade de oviposição diferenciada.

Temperatura	Taxa intrínseca de crescimento r_m		
	Experimental	Simulação	
		Oviposição de 100%	Oviposição diferenciada
27°C	0,13	0,13	0,12
30°C	0,06	0,12	0,08

Assim, pode-se constatar que entre as temperaturas testadas, 27°C é, realmente a melhor para o desenvolvimento do bicho-mineiro, pois, nesta condição,

ocorre a maior taxa intrínseca de crescimento, tendo, assim, o maior potencial para o aumento da população.

3.2.3 Curvas de sobrevivência

Na Figura 2.7 são apresentadas as curvas de sobrevivência do bicho-mineiro com 100% oviposição e com oviposição diferenciada, nas temperaturas de 27°C e 30°C . Pode-se observar que não houve distinção entre as curvas, pois, o fato de considerar uma redução do percentual de fêmeas que realizam oviposição não influencia a sobrevivência e portanto, não altera as longevidades nas temperaturas de 27°C e 30°C , permanecendo as mesmas apresentadas na Tabela 2.5.

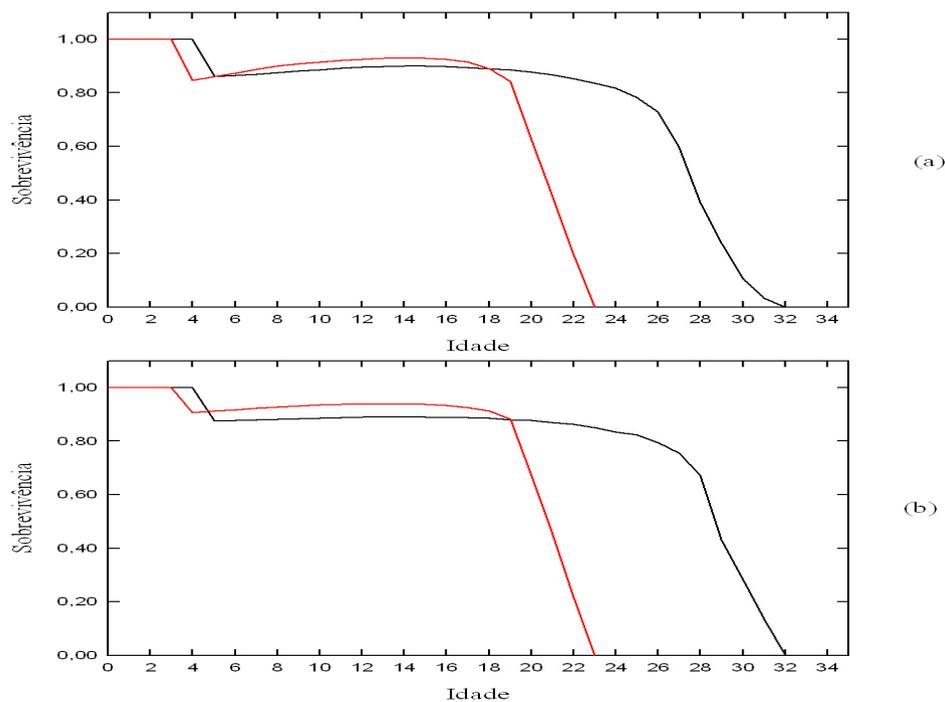


FIGURA 2.7: Curvas de sobrevivência do bicho-mineiro do cafeeiro (a) com oviposição de 100% e (b) com oviposição diferenciada, nas temperaturas de 27°C (preto) e 30°C (vermelho).

4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos nas simulações, o modelo proposto é capaz de reproduzir, com eficiência, algumas características da população do bicho-mineiro do cafeeiro sob condições de laboratório, nas temperaturas de $20^{\circ}C$, $27^{\circ}C$ e $30^{\circ}C$.

O modelo proposto pode ser uma ferramenta útil para programas de controle integrado dessa praga, entretanto, há necessidade de estudos adicionais relativos a seus parâmetros biológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDES, A. T. Strategies for reproduction and ageing. **Annalen der Physik**, Heidelberg, v. 5, n. 6, p. 539-550, 1996.
- BERNARDES, A. T.; MOREIRA, J. G. e CASTRO E SILVA, A. Simulation of chaotic behaviour in population dynamics. **The European Physical Journal B**, New York, v. 1. n. 3, p. 393-396, Jan. 1998.
- FERRARA, N. F.; PRADO, C. P. C. **Caos uma introdução**. São Paulo: Edgard Blucher, 1995. 401 p.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.
- KATIYAR, K, P.; FERRER, F. Technique biology and sterelization of the coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella* Guér (Lepidoptera-Lyonetiidae). In: **International Atomic Energy Agency**, Viena: IAEA, 1968. p. 165-175.
- MOSS DE OLIVEIRA, S.; DE OLIVEIRA, P. M. C.; STAUFFER, D. **Evolution, money, war and computers**. B. G. Stuttgart/Leipzig: Teubner, 1999. v. 1.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 434 p.
- PARRA, J. R. P. **Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Meneville, 1842) (Lepdoptera-Lyonetiidae),visando ao seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo**. 1981. 96 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

- REIS, P. R.; SOUZA, J. C. Influência das condições de tempo sobre a população de insetos e acáros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 25-30, jun. 1986.
- REYES, J.A.O (1973) REYES, J. A. O. Fertilidad, fecundidad, longevidad y vigos sexual del *Leucoptera coffeella* Guerin(Lepidoptera-Lyonetiidae) (minador de la hoje del café). **Acta Agronomica**, Palmira, v. 23, n. 3/4, p. 19-26, jul./dec. 1973.
- SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; RIGITANO R. L. O. **Bicho mineiro**: biologia, danos e manejo integrado. Belo Horizonte: EPAMIG, 1998.
- SPPER, M. Observações relativas à biologia do icho-mineiro das folhas do cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Buccolatricidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 19, p-31-47, 1949.
- STAUFFER, D.; DE OLIVEIRA, P. M. C.; MOSS DE OLIVEIRA, S; ZORZON DOS SANTOS, R. M. Monte Carlo simulations of sexual reproduction. **Physica A - Statistical Mechanics and Its Applications**, Amsterdam, v. 231, n. 4, p. 504-514, Out. 1996.

CAPÍTULO 3

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA A DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE GERAÇÕES ANUAIS DO BICHO-MINEIRO DO CAFEEIRO COM BASE, NA TEMPERATURA

RESUMO

OLIVEIRA, Anderson Castro Soares de. Simulação computacional para a determinação do número de gerações anuais do bicho-mineiro do cafeeiro com base, na temperatura. 2007. Cap. 3. p. 49-63. **In: Simulação computacional da dinâmica populacional do bicho-mineiro do cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), utilizando a versão sexuada do modelo Penna.** 2007. 83 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Foram realizadas simulações visando determinar o número de gerações anuais para o bicho-mineiro do cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), com base em dados de temperatura relativos a alguns municípios produtores de café do estado de São Paulo. Utilizou-se o modelo Penna versão sexuada, em duas situações: temperatura constante e temperatura variável. Os resultados da simulação foram similares aos obtidos por Parra (1981), mostrando que o modelo pode ser uma ferramenta importante para estabelecer o provável número de gerações anuais do bicho-mineiro do cafeeiro.

*Comitê Orientador: Solange Gomes Faria Martins (Orientadora) – UFLA e Mauricio Sergio Zacarias (Co-orientador) – EMBRAPA

ABSTRACT

OLIVEIRA, Anderson Castro Soares de . Computational simulation to determine the number of annual generations of the coffee leaf-miner based on the temperature. 2007. Chap. 3. p. 49-63. **In: Computational simulation of the population dynamics of coffee leaf-miner, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), employing the sexual version of the Penna model.** 2007. 83 p. (Master Dissertation in Statistics and Agricultural Experimentation). Federal University of Lavras, Lavras, MG. *

Some simulations aiming at determine the number of annual generations to the coffee leaf-miner, (*Leucopetera coffeela*) (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) were carried out based on temperature data related to some coffee-producing districts at the São Paulo state. It utilized the Penna Model sexual version, in two situations: constant temperature and variable temperature. The simulation results were similar to those obtained by Parra (1981). It shows that the model can be a important tool to establish the probable number of annual generations of coffee leaf-miner.

*Guidance Committee: Solange Gomes Faria Martins (Major Professor) – UFLA e Mauricio Sergio Zacarias (Co-adviser) – EMBRAPA

1 INTRODUÇÃO

O bicho-mineiro do cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), é, em muitas regiões do Brasil, o principal problema da cafeicultura, causando prejuízos à produção. O seu ciclo de vida abrange as fases de ovo, larva ou lagarta, crisálida e adulta, variando, em média, de 19 a 87 dias, dependendo das condições climáticas, principalmente da temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluvial. Estima-se que ocorram de oito a doze gerações anuais (Gallo et al., 2002; Reis & Souza, 1986).

Entre os fatores climáticos que afetam o ciclo biológico do bicho mineiro, destaca-se a temperatura, pois, em função de suas necessidades térmicas, todas as fases do seu desenvolvimento são influenciadas. Para cada fase existe um limiar de desenvolvimento, temperatura abaixo da qual o desenvolvimento cessa, sendo de $11,5^{\circ}C$, $12,2^{\circ}C$ e $15,1^{\circ}C$, respectivamente, para as fases de ovo, lagarta e crisálida. (Haddad et al., 1999; Parra, 1981; Souza et al., 1998).

Parra (1981) apresentou um modelo para determinar o provável número de gerações anuais do bicho-mineiro do cafeeiro, com base nas exigências térmicas de cada fase de desenvolvimento da espécie. Neste modelo, o número de gerações anuais (NGA) é determinado a partir da equação:

$$NGA = \frac{365}{DOV + DLV + DCR}$$

sendo DOV, DLV e DCR a duração das fases de ovo, larva e crisálida, respectivamente. A duração de cada fase foi determinada pela razão:

$$\frac{K}{\theta - LID}$$

sendo K a constante térmica expressa em graus dias, θ a temperatura média anual e LID o limiar de desenvolvimento.

Com base neste modelo, Parra (1981) determinou o número provável de gerações anuais do bicho-mineiro para regiões com temperaturas médias anuais entre $17^{\circ}C$ e $23^{\circ}C$, por serem regiões adequadas à cafeicultura. Como refinamento deste modelo, determinou-se o número de gerações a partir de temperaturas médias registradas por pântada, isto é, a cada cinco dias, para as principais regiões cafeeiras do estado de São Paulo, nos anos de 1972 a 1979.

Parra (1975), a partir da contagem de folhas lesionadas realizadas no ano de 1973 e Gonçalves et al. (1977), com a contagem de lagartas vivas por folha no ano de 1976, observaram o número de gerações anuais para os municípios de Pindorama e Campinas, SP.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi propor um modelo para determinar o número de gerações anuais do bicho-mineiro do cafeeiro, com base em temperatura e confrontar com o modelo proposto por Parra (1981) e dados experimentais de Parra (1975) e Gonçalves et al. (1977). Considerando a necessidade de uma estrutura etária, utilizou-se o modelo Penna, em sua versão sexuada (Bernardes, 1996).

2 METODOLOGIA

Para determinar-se o número de gerações anuais do bicho-mineiro com base na temperatura, simulou-se a sua dinâmica populacional, utilizando-se dados de temperatura referentes a algumas municípios do estado de São Paulo. Para isso foi utilizado o modelo Penna na versão sexuada (Bernardes, 1996), como apresentado anteriormente. Entretanto, como, agora, a temperatura pode variar com o tempo, os parâmetros do modelo dependentes da temperatura foram ajustados a partir dos dados experimentais de Parra (1981), pelas seguintes equações

$$R(\theta) = 32458,90 \exp(-0,35\theta) + 17,28 \quad (3.1)$$

$$PRE(\theta) = 51,98 \exp(-0,14\theta) \quad (3.2)$$

$$DOV(\theta) = 1471.11 \exp(-0,27\theta) + 3,67 \quad (3.3)$$

$$B(\theta) = 86,28 \exp(-0,09(\theta - 25)^2) \quad (3.4)$$

$$b(\theta) = 0,39\theta - 6.95 \quad (3.5)$$

sendo R a idade mínima de reprodução, PRE o período de pré-oviposição, DOV a duração da fase de ovo, B o número total de ovos, b o número de ovos a cada dia de oviposição e θ a temperatura.

A cada etapa temporal, fêmeas com idade maior ou igual a $R(\theta)$, sendo θ a temperatura correspondente a esta etapa temporal, foram fecundadas uma única vez. PRE e B assumem valores correspondentes à temperatura em que a fêmea foi fecundada. Já os valores de b e DOV variaram a cada etapa temporal, de acordo com o valor da temperatura. Neste caso, o período de oviposição não foi fixado, uma vez que o número médio diário de ovos (b) é calculado a cada etapa temporal. Considerou-se, nesta simulação, uma probabilidade de 100% para a oviposição,

ou seja, todas as fêmeas ovipositaram.

Os outros parâmetros do modelo, os quais independem da temperatura, assumiram os mesmos valores da simulação anterior, ou seja:

- $N_0 = 10.000$ (tamanho inicial da população: 50% machos e 50% fêmeas);
- $N_{max} = 100.000$ (capacidade de carga);
- $M = 4$ (número de mutações do ambiente);
- $T = 4$ (limite de mutações deletérias).

Com esses parâmetros, a dinâmica da população segue as regras simples do modelo Penna. As simulações foram realizadas de $t = 0$ a $t = 360$ dias, (aproximadamente um ano).

Para determinar o número de gerações anuais, foi estabelecida a seguinte estratégia, a população inicial N_0 foi considerada de geração 1 e seus filhos foram considerados de geração 2, e assim sucessivamente. Ao final de cada simulação, foi considerada a maior geração como o número de gerações anuais.

2.1 Número de gerações anuais com base em temperaturas médias anuais

Para determinar o número de gerações anuais com base na temperatura média anual, realizou-se uma simulação, para cada temperatura, entre $17^{\circ}C$ e $23^{\circ}C$, por serem estas adequadas ao desenvolvimento da cafeicultura (Parra, 1981). Neste caso, em cada simulação, a temperatura foi considerada constante.

2.2 Número de gerações anuais das principais regiões cafeeiras do estado de São Paulo

Foram realizadas simulações para se obter o número de gerações anuais para oito municípios representantes das diferentes regiões cafeeiras do estado de São Paulo: Cássia dos Coqueiros, Ataliba Leonel, Pindorama, Ribeirão Preto, Campinas, Jaú, Mococa e Presidente Prudente.

A contagem do número de gerações do bicho-mineiro foi iniciada em janeiro. Neste caso, os valores das temperaturas médias, para cada cidade, variaram por pântada (as temperaturas médias foram calculadas sobre intervalos de 5 dias, a partir de sua média histórica) e foram obtidos do trabalho de Parra (1981).

Para as cidades de Pindorama e Campinas, foram feitas também simulações considerando as temperaturas médias por pântada para os anos de 1972 a 1979, como apresentado por Parra (1981).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Número de gerações anuais, com base em temperaturas médias anuais

Na Tabela 3.1 são apresentados os prováveis números de gerações anuais calculados a partir de temperaturas médias anuais. Pode-se observar que, para todos os intervalos de temperatura, os números de gerações obtidos pela simulação estão próximos dos obtidos por Parra (1981), podendo ocorrer de quatro a doze gerações anuais, demonstrando ser este um parâmetro biológico dependente da temperatura ambiente.

De acordo com Meireles et al. (2004), as temperaturas médias anuais favoráveis à produção de café são aquelas entre $18^{\circ}C$ e $22^{\circ}C$. Assim, de acordo com a simulação, para as regiões cafeeiras, podem ocorrer de cinco a onze gerações anuais do bicho-mineiro.

TABELA 3.1: Número de gerações anuais do bicho-mineiro do cafeeiro, com base em temperaturas médias anuais obtidas por Parra (1981) e pela simulação.

Temperatura $^{\circ}C$	Número de gerações	
	Parra (1981)	Simulação
17 a 18	4,40 a 5,80	4 a 5
18 a 19	5,80 a 7,20	5 a 6
19 a 20	7,20 a 8,40	6 a 8
20 a 21	8,40 a 9,70	8 a 9
21 a 22	9,70 a 10,90	9 a 11
22 a 23	10,90 a 12,20	11 a 12
>23	>12,20	>12

3.2 Número de gerações anuais das principais regiões cafeeicultoras do estado de São Paulo

Na Tabela 3.2 são apresentados os números de gerações anuais do bicho-mineiro do cafeeiro obtidos para as oito municípios do estado de São Paulo, calculados com temperaturas médias por pântada, a partir de sua média histórica. Pode-se observar que, com exceção de Ribeirão Preto e Presidente Prudente, os números de gerações obtidos na simulação coincidiram com os obtidos por Parra (1981).

TABELA 3.2: Número de gerações anuais de bicho-mineiro, com base em temperaturas por pântada, para oito cidades do estado de São Paulo, obtidas por Parra (1981) e pela simulação.

Cidade	Número de gerações	
	Parra (1981)	Simulação
Cássia dos Coqueiros	8	8
Pindorama	11	11
Ribeirão Preto	10	11
Jaú	10	10
Presidente Prudente	12	11
Ataliba Leonel	8	8
Campinas	9	9
Mococa	10	10

Dos resultados da simulação, observa-se que o número de gerações varia de cidade para cidade, podendo ocorrer de oito a onze gerações anuais. As cidades de Ataliba Leonel e Cássia dos Coqueiros apresentaram o menor número, podendo ocorrer oito gerações, enquanto que, em Pindorama, Ribeirão Preto e Presidente Prudente podem ocorrer onze, sendo o maior número obtido. As cidades de Jaú e Mococa oferecem condições para que ocorram dez gerações anuais do inseto e, em Campinas nove.

Pode-se observar na Tabela 3.3, o número de gerações anuais para Pindorama e Campinas, obtidos nos trabalhos de Parra (1981) e por simulação, para os anos de 1972 a 1979, calculados com temperaturas médias por pântada. Os números de gerações obtidos pela simulação estão próximos dos obtidos por Parra (1981), podendo-se verificar que ambas as cidades tiveram número de gerações variável de ano para ano, como já previsto por Parra (1981).

TABELA 3.3: Temperaturas médias anuais e número de gerações anuais de bichomineiro do cafeeiro, com base em temperaturas médias por pântada para os municípios de Pindorama e Campinas, SP, nos anos de 1972 a 1979, obtidos por Parra (1981) e pela simulação.

Ano	Número de gerações anuais					
	Pindorama			Campinas		
	Temperatura Média Anual	Parra (1981)	Simulação	Temperatura Média Anual	Parra (1981)	Simulação
1972	21,9°C	10	11	20,7°C	9	10
1973	22,7°C	11	12	21,0°C	9	10
1974	22,3°C	12	12	20,6°C	10	10
1975	22,4°C	11	11	20,2°C	9	10
1976	21,3°C	9	10	19,9°C	8	8
1977	22,7°C	11	12	21,4°C	10	10
1978	22,1°C	11	12	20,9°C	9	10
1979	21,9°C	10	11	20,5°C	9	9

Em Pindorama, a amplitude de variação foi de dez a doze gerações. O menor número ocorreu no ano de 1976, que correspondeu à menor temperatura média anual. Para todos os anos, os números de gerações foram semelhantes àqueles previstos, com base nas temperaturas médias anuais (Tabela 3.1).

Para Campinas, os números de gerações giraram em torno de nove (Tabela 3.3), variando de oito gerações, em 1976 (ano com a menor temperatura média

anual), a dez gerações em 1977 (ano com a maior temperatura média anual). Na maioria dos anos, os números de gerações ficaram próximos aos apresentados na Tabela 3.2.

Na Tabela 3.4, apresentamos os números de gerações anuais do bicho-mineiro do cafeeiro, obtidos pela simulação e experimentalmente por Parra (1975) e Gonçalves et al. (1977), para as cidades de Pindorama e Campinas, nos anos de 1973 e 1976, respectivamente. Pode-se observar que, na simulação, o número de gerações difere pouco daqueles obtidos pelos pesquisadores, mostrando que o modelo apresenta-se válido para prever o número de gerações anuais do bicho-mineiro do cafeeiro.

TABELA 3.4: Números de gerações anuais de bicho-mineiro do cafeeiro obtidos pela simulação e experimentalmente por Parra (1975), para o ano de 1973 e por Gonçalves et al. (1977), para o ano de 1976, para as cidades de Pindorama e Campinas.

Ano	Número de gerações anuais			
	Pindorama		Campinas	
	Experimental	Simulação	Experimental	Simulação
1973	10	12	8	9
1976	10	10	7	8

4 CONCLUSÃO

Os números de gerações anuais obtidos pelo modelo proposto foram similares aos obtidos no modelo proposto por Parra (1981) e aos dados experimentais de Parra (1975) e Gonçalves et al. (1977), conseguindo reproduzir as variações no número de gerações de bicho-mineiro do cafeeiro, de acordo com a temperatura.

As previsões do número provável de gerações do bicho-mineiro do cafeeiro, com base na temperatura, é uma ferramenta útil para se conhecer os prováveis picos populacionais dessa praga, embora não seja um resultado absoluto, pois sua dinâmica não é regulada apenas pela temperatura, apesar de ser este um importante elemento regulador da população. De fato, outros fatores climáticos e o ciclo fenológico do cafeeiro devem ser levados em conta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDES, A. T. Strategies for reproduction and ageing. **Annalen der Physik**, Heidelberg, v. 5, n. 6, p. 539-550, 1996.
- GONÇALVES, W.; PARRA, J. R. P.; PREETTI, A. A. C. M.; SALGADO, W. L.; THAMAZIELLO, R. A.; TOLEDO FILHO, J.; GIL, E. Estudo do efeito de aplicação de defensivos na flutuação populacional do bicho mineiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842) em regiões cafeeiras do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 5., 1977, Guarapari, ES. **Anais...** Rio de Janeiro : IBC/GERCA, 1977. p. 51-53.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.
- HADDAD, M. L.; PARRA, J. R. P.; e MORAS, R. C. **Métodos para estimar os limites térmicos inferior e superior de desenvolvimento de insetos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. 29 p.
- MEIRELES, E. J. L.; CAMARGO, M. B. P.; FAHL, J. I.; THOMAZIELLO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; NACIF, A. P. E BARDIN, L. **Fenologia do cafeeiro: condições agrometeorológicas e balanço hídrico - ano agrícola 2002-2003**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 43 p.
- PARRA, J. R. P. **Bioecologia de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Meneville, 1842) (Lepidoptera-Lyonetiidae) em condições de campo**. 1975. 114 p. Tese

(Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

PARRA, J. R. P. **Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Meneville, 1842) (Lepidoptera-Lyonetiidae), visando ao seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo.** 1981. 96 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C. Influência das condições de tempo sobre a população de insetos e acáros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138,25-30, jun. 1986.

SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; RIGITANO R. L. O. **Bicho mineiro: biologia, danos e manejo integrado.** Belo Horizonte: EPAMIG, 1998.

CAPÍTULO 4

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA FLUTUAÇÃO POPULACIONAL DO BICHO-MINEIRO DO CAFEEIRO EM CONDIÇÕES DE CAMPO PARA A CIDADE DE SÃO SEBASTIÃO DO PARAÍSO, MG

RESUMO

OLIVEIRA, Anderson Castro Soares de. Simulação computacional da flutuação populacional do bicho-mineiro do cafeeiro em condições de campo para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG. 2007. Cap. 4. p. 64-77. **In: Simulação computacional da dinâmica populacional do bicho-mineiro do cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), utilizando a versão sexuada do modelo Penna.** 2007. 83 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Foram realizadas simulações do número de gerações anuais e da flutuação populacional de lagartas do bicho-mineiro do cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), utilizando-se dados de temperatura e precipitação pluvial relativos ao município de São Sebastião do Paraíso, MG, no período de 1989 a 1993. Os resultados da simulação foram comparados com aqueles obtidos em pesquisa de campo realizada por Reis & Souza (1996), tendo sido verificado que, para a maioria dos anos, o modelo foi capaz de reproduzir os picos populacionais do inseto-praga.

*Comitê Orientador: Solange Gomes Faria Martins (Orientadora) – UFLA e Mauricio Sergio Zacarias (Co-orientador) – EMBRAPA

ABSTRACT

OLIVEIRA, Anderson Castro Soares de . Computational simulation of the populational fluctuation of the coffee leaf-miner in field conditions to the city of São Sebastião do Paraíso, MG. 2007. Chap. 4. p. 64-77. **In: Computational simulation of the population dynamics of coffee leaf-miner, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), employing the sexual version of the Penna model.** 2007. 87 p. (Master Dissertation in Statistics and Agricultural Experimentation). Federal University of Lavras, Lavras, MG. *

Some simulations of the number of annual generations and the population fluctuation of the coffee leaf-miner larva, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) were carried out utilizing data on temperature and pluviometric precipitation about the district of São Sebastião do Paraíso - MG, in the period between 1989 and 1993. The results of the simulation were compared with the results obtained in field research carried out by Reis. For the most of the years, it was verified that the model was able to reproduce the insect-plague population peaks.

*Guidance Committee: Solange Gomes Faria Martins (Major Professor) – UFLA e Mauricio Sergio Zacarias (Co-adviser) – EMBRAPA

1 INTRODUÇÃO

O bicho-mineiro do cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae), é uma importante praga desta cultura nas principais regiões produtoras. A sua ocorrência está condicionada a fatores climáticos, tais como temperatura, precipitação pluvial e umidade relativa, sistema de condução da lavoura, presença ou ausência de inimigos naturais, como parasitóides, predadores e entomopatógenos e ciclo bienal do café, entre outros. Este fatores, atuando isolados ou conjuntamente, determinam maiores ou menores infestações da praga, bem como seus picos populacionais (Parra, 1981; Pereira, 2002; Reis & Souza, 1986; Souza et al., 1998).

As lagartas alimentam-se do parênquima foliar do cafeeiro, conseqüentemente, a epiderme e os tecidos das folhas no local atacado ficam necrosados. Os danos causados às folhas causam diminuição da área foliar, queda das folhas e, conseqüentemente, redução de produtividade, rendimento e longevidade do cafeeiro (Gallo et al., 2002; Souza et al., 1998).

O controle químico dessa praga já é conhecido e eficiente. Contudo, agentes de controle biológico têm desempenhado um papel importante, sendo capazes de manter a população da praga abaixo do nível de dano econômico em algumas regiões, sendo importantes aliados em programa de manejo da mesma. O conhecimento sobre a flutuação populacional dessa praga se torna de fundamental importância para estabelecer estratégias de controle (químico ou biológico) (Fragoso et al., 2001; Zambolin, 2000).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi propor um modelo para determinar a flutuação populacional desta praga, com base em temperatura e precipitação pluvial, usando dados experimentais relatados por Parra (1981).

2 METODOLOGIA

Para simulação da flutuação populacional de lagartas do bicho-mineiro em condições de campo, na cidade de São Sebastião do Paraíso, no período de 1989 a 1993, utilizou-se o modelo Penna em sua versão sexuada (Bernardes, 1996; Stauffer et al., 1996), como apresentado anteriormente.

Considerando que a precipitação é um fator climático que afeta a sobrevivência do bicho-mineiro, foi acrescentado ao modelo uma probabilidade de morte devido à precipitação (Figura 4.2), definida por:

$$P_m(\rho) = 0.95(1 - \exp(-0.0125 * \rho)) \quad (4.1)$$

sendo P_m a probabilidade de morte e ρ a precipitação média diária.

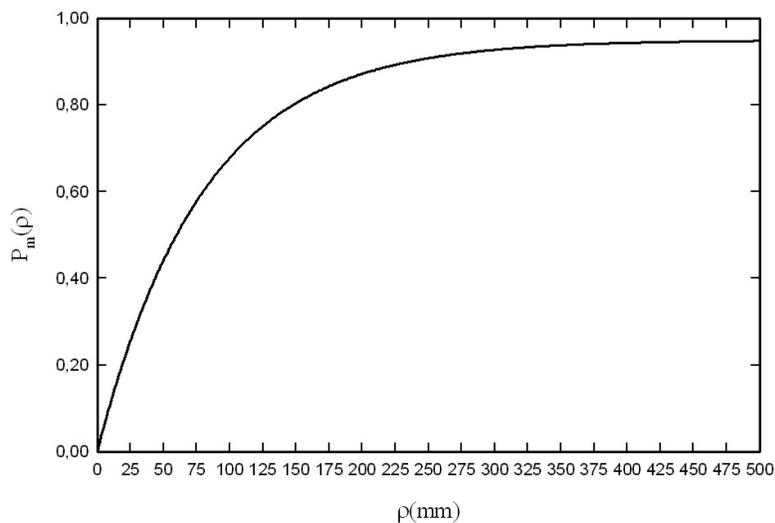


FIGURA 4.1: Probabilidade de morte de bicho-mineiro do cafeeiro, em função da precipitação pluvial.

Os dados de temperatura e precipitação foram obtidos da estação climatológica da Fazenda Experimental de São Sebastião do Paraíso (FESP) da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig). Os valores de temperatura média e precipitação média por pântada, para cada ano, em São Sebastião do Paraíso, assumiram os valores apresentados no anexo A. Os parâmetros do modelo, dependentes da temperatura, foram ajustados, a partir dos dados experimentais de Parra (1981), pelas seguintes equações

$$R(\theta) = 32458,90 \exp(-0,35\theta) + 17,28 \quad (4.2)$$

$$PRE(\theta) = 51,98 \exp(-0,14\theta) \quad (4.3)$$

$$DOV(\theta) = 1471,11 \exp(-0,27\theta) + 3,67 \quad (4.4)$$

$$B(\theta) = 86,28 \exp(-0,09(\theta - 25)^2) \quad (4.5)$$

$$b(\theta) = 0,39\theta - 6.95 \quad (4.6)$$

Assim, os valores de idade mínima de reprodução (R), período de pre-oviposição (PRE), duração da fase de ovo (DOV), número total de ovos (B) e número diário de ovos (b) foram atualizados a cada etapa temporal.

Os outros parâmetros, os quais independem da temperatura, assumiram os mesmos valores das simulações anteriores, ou seja,

- $N_0 = 10.000$ (tamanho inicial da população: 50% machos e 50% fêmeas);
- $N_{max} = 100.000$ (capacidade de carga do ambiente);
- $M = 4$ (número de mutações);
- $T = 4$ (limite de mutações deletérias).

Com esses parâmetros, a dinâmica da população seguiu as regras simples do modelo Penna. As simulações foram realizadas de $t = 0$ a $t = 360$ dias (apro-

ximadamente um ano), considerando-se duas situações: a primeira, sob influência apenas de temperatura e a segunda, da temperatura e da precipitação pluvial.

2.1 Número de gerações anuais

Em cada simulação, foram obtidos os números de gerações anuais para o município de São Sebastião do Paraíso, MG nos anos de 1989 a 1993. A contagem do número de gerações do bicho-mineiro foi iniciada a partir de janeiro.

2.2 Flutuação populacional

Como, no levantamento de flutuação populacional do bicho-mineiro realizado por Reis & Souza (1996), considerou-se apenas a população de lagartas, foi necessário ajustar, a partir dos dados experimentais de Parra (1981), a seguinte equação para duração da fase de lagarta

$$DLV(\theta) = 1478.10 \exp(-0.25\theta) + 8.83 \quad (4.7)$$

sendo DLV a duração da fase de lagarta e θ a temperatura.

Para cada ano, foram calculados os tamanhos médios das populações de lagartas a cada 30 etapas temporais (dias). Em seguida, estes valores foram normalizados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Número de gerações anuais

Na Tabela 4.1, são apresentados os prováveis números de gerações anuais do bicho-mineiro do cafeeiro, para o município de São Sebastião do Paraíso, MG, nos anos de 1989 a 1993. Pode-se verificar que o número de gerações, considerando apenas as temperaturas médias por pântada, variou de onze a doze. Este intervalo é alterado quando considerada a influência da precipitação, passando a variar de dez a doze gerações. Assim, observa-se, por meio da simulação, que o número de gerações anuais foi afetado pela precipitação pluvial, para os anos de menor temperatura média anual (1991, 1992 e 1993).

TABELA 4.1: Número de gerações anuais de bicho-mineiro, com base em temperaturas por pântada, para São Sebastião do Paraíso, obtidas na simulação.

Ano	Temp. média anual	Prec. média anual	Número de gerações anuais	
			Sem prec.	Com prec.
1989	21,6°C	4,6	12	12
1990	21,9°C	3,9	12	12
1991	21,4°C	4,3	12	11
1992	21,3°C	4,8	11	10
1993	21,2°C	4,6	11	10

No ano de 1990, verificou-se a menor precipitação média (condição que favorece o desenvolvimento da praga) e a maior temperatura média (condição que também é favorável à praga). Contudo, tais condições não acarretaram um aumento no número de gerações em relação a 1989, ou seja, a precipitação pluvial somente afeta o desenvolvimento do inseto sob temperaturas mais baixas. Assim, conclui-se que a temperatura é o fator de maior importância na determinação do

número de gerações anuais.

3.2 Flutuação populacional

Na Figura 4.2 são apresentadas as flutuações populacionais de lagartas do bicho-mineiro do cafeeiro (com e sem precipitação), as temperaturas médias mensais e precipitações médias mensais para o município de São Sebastião do Paraíso-MG, nos anos de 1989 a 1993. Verifica-se que, para todos os anos, sem a influência da precipitação, a população do bicho-mineiro do cafeeiro apresenta dois picos anuais, em março/abril e setembro/outubro. Com a precipitação observa-se apenas um único pico populacional, em setembro/outubro. Assim, tem-se que a precipitação é um fator que reduz o crescimento populacional do bicho-mineiro, regulando a população no período chuvoso do ano.

Na Figura 4.3 são apresentadas as flutuações populacionais de lagartas de bicho-mineiro para a cidade de São Sebastião do Paraíso, obtidas por Reis & Souza (1996) e por simulação, bem como temperaturas médias mensais e precipitações médias mensais nos anos de 1989 a 1993.

No ano de 1989, pela simulação, a população apresentou um pico populacional nos meses de setembro/outubro, diferindo dos resultados experimentais em que o pico ocorreu nos meses de junho a agosto. De modo geral, nos anos 1990, 1991 e 1992, os resultados obtidos pela simulação ficaram próximos aos experimentais, reproduzindo os picos populacionais encontrado por Reis & Souza (1996). Em 1993, não foi possível reproduzir a mesma flutuação obtida por Reis & Souza (1996), pois na simulação ocorreu um pico populacional nos meses de novembro/dezembro, não evidenciado experimentalmente.

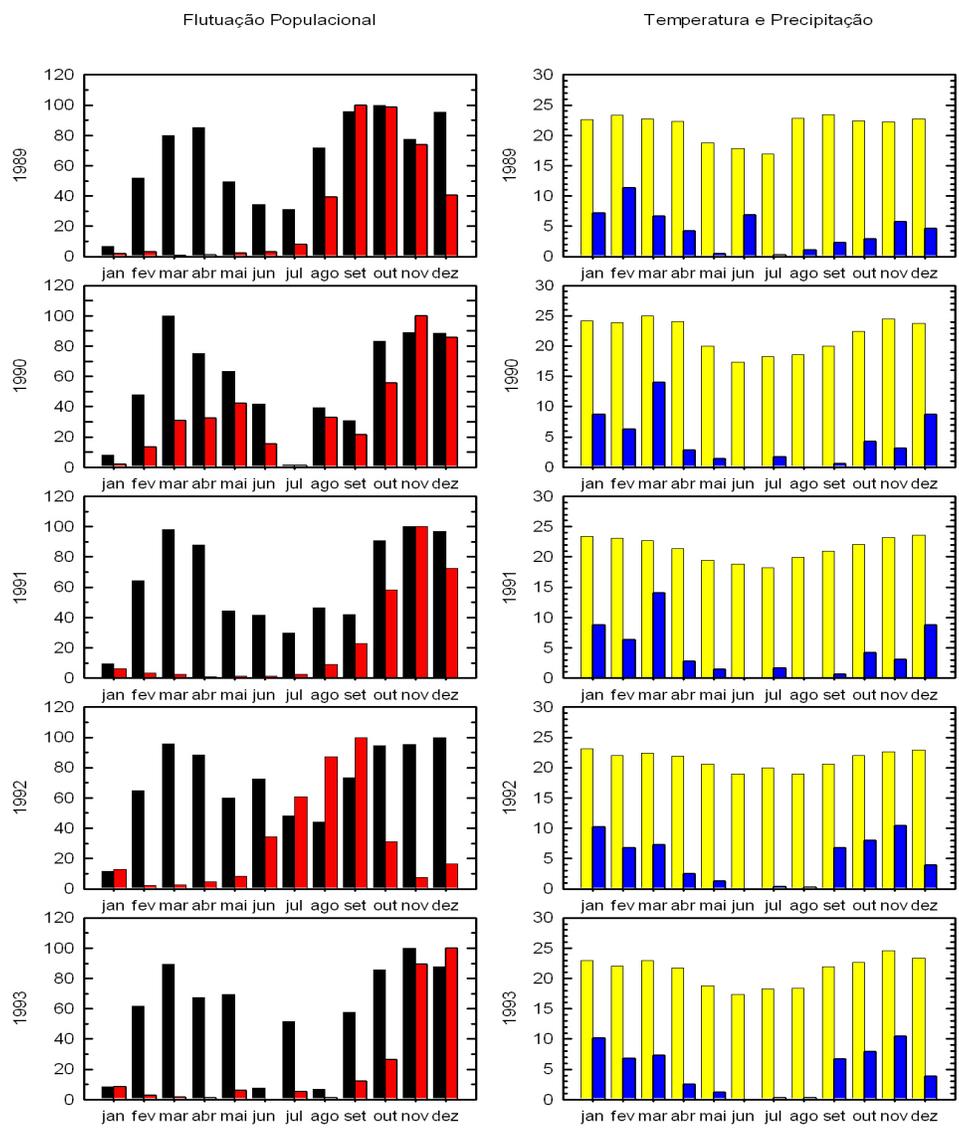


FIGURA 4.2: Flutuação populacional de lagartas de bicho-mineiro do cafeeiro, para município de São Sebastião do Paraíso, MG, nos anos de 1989 a 1993, obtidas pela simulação, sem (preto) e com (vermelho) influência de precipitação e suas temperaturas médias mensais (verde) e precipitações pluviométricas médias mensais (azul).

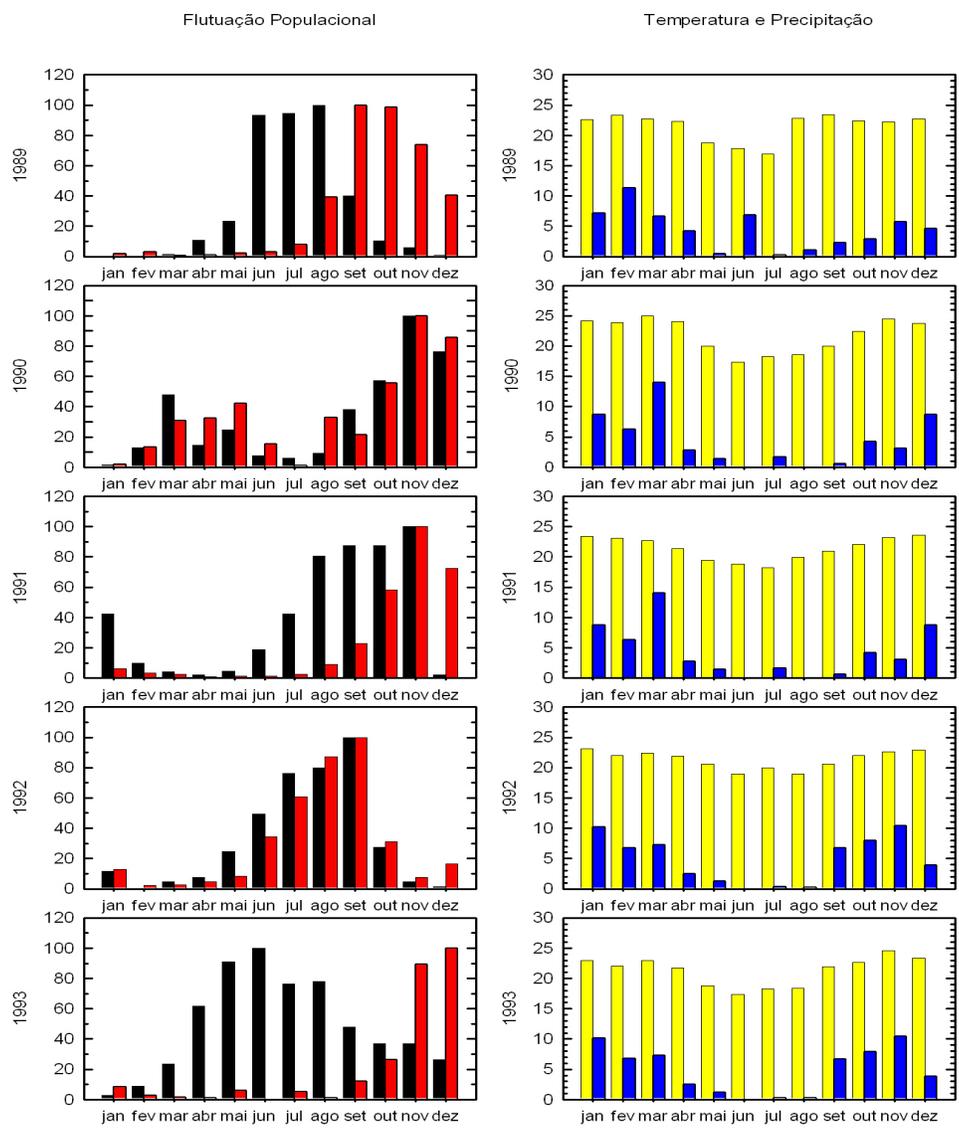


FIGURA 4.3: Flutuação populacional de lagartas de bicho-mineiro do cafeeiro, para o município de São Sebastião do Paraíso, MG, nos anos de 1989 a 1993, obtida por Reis & Souza (1996) (preto), e simulação com precipitação (vermelho), e suas temperaturas médias mensais (verde) e precipitações pluviométricas médias mensais (azul).

4 CONCLUSÃO

De acordo com o modelo proposto, a precipitação afeta o número de geração apenas para situações com temperaturas mais baixas, sendo a temperatura o fator climático mais importante na determinação do número de gerações anuais.

O modelo proposto conseguiu reproduzir os picos populacionais do bicho-mineiro sob efeito de temperatura e precipitação, para a maioria dos anos testados. Assim, pode ser uma ferramenta útil para a previsão de prováveis picos populacionais dessa praga, mesmo sem a inclusão de outros fatores de regulação, além da precipitação.

Dessa forma, o modelo demonstrou que pode ser de grande contribuição para estabelecer estratégias de controle do bicho-mineiro. Entretanto, para um modelo de previsão eficiente, ainda há necessidade de maiores pesquisas relativas à biologia básica desta praga, tais como: parâmetros biológicos para outras temperaturas, interação com seus inimigos naturais, real influência da precipitação como fator de mortalidade e outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDES, A. T. Strategies for reproduction and ageing. **Annalen der Physik**, Heidelberg, v. 5, n. 6, p. 539-550, 1996.
- FRAGOSO, D. B. Seletividade de inseticidas a vespas predadoras de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Meneville, 1842) (Lepdoptera-Lyonetiidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 139-144, Jan./Apr. 2001.
- GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C. de; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.
- PARRA, J. R. P. **Biologia comparada de Perileucoptera coffeella (Guérin-Meneville, 1842) (Lepdoptera-Lyonetiidae), visando ao seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo**. 1981. 96 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- PEREIRA, E. J. G. **Variação sazonal do fatores de mortalidade natural de Leucoptera coffeella em Coffea arabica**. 2002. 50 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- REIS, P. R.; SOUZA, J. C. Influência das condições de tempo sobre a população de insetos e acáros. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 25-30, jun. 1986.
- REIS P. R.; SOUZA, J. C. Manejo integrado do bicho-mineiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Meneville, 1842) (Lepdoptera-Lyonetiidae), e seu reflexo na pro-

dução de café. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Piracicaba, 12, 1996.

SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; RIGITANO R. L. O. **Bicho mineiro**: biologia, danos e manejo integrado. Belo Horizonte: EPAMIG, 1998.

STAUFFER, D.; DE OLIVEIRA, P. M. C.; MOSS DE OLIVEIRA,S; ZORZON DOS SANTOS, R. M. Monte Carlo simulations of sexual reproduction. **Physica A - Statistical Mechanics and Its Applications**, Amsterdam, v. 231, n. 4, p. 504-514, Out. 1996.

ZAMBOLIN, L. **Manejo integrado - doenças, pragas e plantas daninhas** Viçosa: UFV, 2000. 416 p.

ANEXOS

ANEXO A		Páginas
TABELA 1A	Temperatura média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1989	80
TABELA 2A	Precipitação média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1990	80
TABELA 3A	Temperatura média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1991	80
TABELA 4A	Precipitação média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1992	81
TABELA 5A	Temperatura média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1993	81
TABELA 6A	Precipitação média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1989	81
TABELA 7A	Temperatura média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1990	82
TABELA 8A	Precipitação média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1991	82
TABELA 9A	Temperatura média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1992	82

TABELA 10A	Precipitação média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1993	83
------------	---	----

ANEXO A

TABELA 1A: Temperatura média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG em 1989.

Pântada	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	20	23	23	23	23	18	19	30	23	24	23	23
2	22	22	22	23	19	20	16	20	22	23	21	23
3	23	23	22	23	19	18	14	19	24	22	22	24
4	23	23	23	22	18	17	15	20	22	20	20	23
5	24	24	23	21	19	19	17	24	24	22	23	22
6	24	24	23	22	15	16	20	24	25	23	24	21

TABELA 2A: Precipitação média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1989.

Pântada	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	7	6	18	1	3	0	0	5	3	7	0	9
2	22	10	0	1	0	40	0	0	1	0	0	1
3	5	12	12	24	0	1	0	0	8	0	5	2
4	4	17	1	0	0	0	0	0	0	10	8	12
5	4	10	3	0	0	0	0	0	1	1	7	4
6	0	14	6	0	0	1	2	1	1	0	13	0

TABELA 3A: Temperatura média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1990.

Pântada	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	24	24	25	26	22	20	19	15	19	18	24	23
2	23	24	26	25	23	20	17	18	21	23	23	25
3	25	25	27	24	22	18	17	19	21	26	25	24
4	24	24	23	21	17	17	20	19	17	24	26	24
5	25	24	24	23	17	13	20	21	23	22	25	23
6	25	22	24	25	20	17	17	19	19	22	23	23

TABELA 4A: Precipitação média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1990.

Pântada	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	34	0	6	0	3	0	0	0	3	5	0	3
2	7	3	2	8	1	0	2	0	2	0	2	1
3	7	9	0	5	3	0	2	0	0	2	1	6
4	0	0	4	7	5	0	0	9	5	10	1	3
5	2	2	4	0	0	0	0	8	0	14	5	7
6	0	27	11	0	0	0	0	2	0	5	24	11

TABELA 5A: Temperatura média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1991.

Pântada	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	23	23	22	23	20	18	19	19	22	22	24	24
2	24	22	24	23	20	20	18	20	19	22	22	24
3	23	23	24	20	19	17	18	22	21	20	23	23
4	23	24	23	23	19	19	19	18	21	24	23	23
5	24	24	23	20	20	20	19	18	21	23	24	23
6	23	23	20	20	19	19	17	22	23	23	23	24

TABELA 6A: Precipitação média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1991.

Pântada	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	0	3	17	2	0	0	5	0	0	11	0	6
2	26	12	3	1	3	0	0	0	0	8	5	0
3	4	17	21	1	3	0	2	0	0	1	7	27
4	10	5	3	1	0	0	3	0	0	1	6	6
5	6	0	10	3	2	0	0	0	3	5	0	9
6	7	1	31	10	0	0	0	0	0	0	0	4

TABELA 7A: Temperatura média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1992.

Pântada	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	22	21	23	23	22	20	22	20	22	22	23	22
2	23	22	23	23	20	21	19	19	20	21	22	23
3	24	22	22	22	22	19	19	18	18	20	22	23
4	23	23	22	20	21	16	21	18	20	23	24	23
5	22	23	22	22	19	19	20	19	21	23	23	23
6	24	22	22	22	20	19	19	20	21	23	23	24

TABELA 8A: Precipitação média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1992.

Pântada	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	11	25	4	1	4	0	0	0	0	9	33	0
2	0	3	7	0	0	0	2	0	11	0	3	0
3	8	0	3	3	0	0	0	0	1	17	9	11
4	10	0	8	4	1	0	0	0	9	3	0	4
5	28	4	16	4	3	0	0	1	8	8	13	7
6	4	9	6	2	0	0	0	0	11	10	4	1

TABELA 9A: Temperatura média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1993.

Pântada	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	23	22	24	21	21	19	19	18	22	22	24	25
2	23	22	23	22	19	19	18	20	24	21	25	25
3	23	22	23	22	19	18	18	18	21	22	23	24
4	22	22	22	22	18	16	18	19	21	23	25	23
5	23	22	22	22	16	16	18	16	23	24	26	23
6	24	23	23	21	19	16	18	19	21	23	25	21

TABELA 10A: Precipitação média por pântada para a cidade de São Sebastião do Paraíso, MG, em 1993.

Pântada	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	8	13	12	5	6	10	0	0	0	1	0	1
2	11	29	0	8	1	12	0	0	5	2	4	2
3	3	9	3	3	1	0	0	0	0	0	5	14
4	3	6	22	0	0	2	0	7	4	2	0	4
5	5	12	19	0	0	0	0	2	5	7	2	13
6	10	6	2	0	0	0	0	1	12	5	2	6