



ÉRICA FERNANDA DA CRUZ

**PROPOSTA DE MODELO PARA A
DINÂMICA POPULACIONAL DO ÁCARO
Tetranychus urticae (Koch), SEU PREDADOR
Neoseiulus californicus (McGregor) E SUA
INTERAÇÃO**

LAVRAS - MG

2014

ÉRICA FERNANDA DA CRUZ

**PROPOSTA DE MODELO PARA A DINÂMICA POPULACIONAL DO
ÁCARO *Tetranychus urticae* (Koch), SEU PREDADOR *Neoseiulus
californicus* (McGregor) E SUA INTERAÇÃO**

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

Orientadora
Dra. Solange Gomes Faria Martins
Coorientadora
Dra. Thelma Sáfadi

**LAVRAS - MG
2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e Serviços
da Biblioteca Universitária da UFLA**

Cruz, Érica Fernanda da.

Proposta de modelo para a dinâmica populacional do ácaro *Tetranychus urticae* (Koch), seu predador *Neoseiulus californicus* (McGregor) e sua interação / Érica Fernanda da Cruz. – Lavras: UFLA, 2014.

95 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Solange Gomes Faria Martins.

Bibliografia.

1. Simulação computacional. 2. Dinâmica de populações. 3. Séries temporais. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD - 519.5

ÉRICA FERNANDA DA CRUZ

**PROPOSTA DE MODELO PARA A DINÂMICA POPULACIONAL DO
ÁCARO *Tetranychus urticae* (Koch), SEU PREDADOR *Neoseiulus
californicus* (McGregor) E SUA INTERAÇÃO**

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

APROVADA em 17 de fevereiro de 2014.

Dra. Thelma Sáfadi

UFLA

Dra. Maria do Carmo Pacheco de Toledo Costa

UFLA

Dr. Maurício Sérgio Zacarias

EMBRAPA Café

Dra. Solange Gomes Faria Martins

Orientadora

LAVRAS - MG

2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo entendimento, sabedoria, calma e por tornar possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço aos meus pais e irmãos, pelo carinho, apoio e força para seguir em frente e realizar meus objetivos.

Agradeço à professora Dra. Solange, minha orientadora, sempre disponível e disposta a ajudar. Pela paciência, amizade e valiosa orientação.

À professora Dra. Thelma, minha coorientadora, pela disponibilidade, apoio, atenção e paciência.

Ao Dr. Zacarias e a professora Dra. Maria do Carmo, por terem aceitado o convite para participar da banca e contribuir de forma significativa com meu trabalho.

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

À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro.

Aos amigos do curso de mestrado, pelo apoio e amizade. Em especial à Tamara, Laís, Allan, Carioca, Micha e Fernando por todos os momentos de convivência, sempre presentes nessa jornada.

Aos meus amigos em geral, sempre presentes, me apoiando, incentivando e sendo o meu refúgio.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Exatas (DEX).

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Estatística e Experimentação Agropecuária.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a execução desta dissertação, meu sincero agradecimento.

RESUMO

A espécie *Tetranychus urticae*(Koch), conhecida como ácaro rajado é uma praga que causa danos a diversas culturas de importância econômica no Brasil e no mundo. Esta espécie vem se tornando resistente a produtos químicos, o que dificulta seu manejo. Uma alternativa para a solução do problema é o controle biológico, em que ácaros predadores são liberados em plantações infestadas com o intuito de diminuir ou até mesmo extinguir a população da praga. Uma das espécies mais eficientes neste controle é o ácaro *Neoseiulus californicus* (McGregor), que é considerado um excelente agente no controle do ácaro rajado. Em biologia, especificamente no estudo de dinâmica de populações, a modelagem matemática, estatística e computacional são ferramentas que estão sendo usadas, cada vez mais, para estudar o comportamento de sistemas biológicos, complementando a experimentação quando propósitos preditivos estão envolvidos. Modelos de previsão são de grande interesse em Programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), pois fornecem subsídios para se estabelecer práticas de prevenção e controle de pragas e doenças. Neste trabalho, foi realizado um estudo para descrever características biológicas e comportamentais do ácaro rajado *T. urticae* e do ácaro predador *N. californicus*, bem como a dinâmica de interação entre as espécies, via simulação computacional, com base em dados experimentais relatados na literatura. A dinâmica populacional de cada espécie foi tratada primeiro separadamente e depois interagindo entre si. Os resultados obtidos indicam que o modelo proposto foi capaz de reproduzir características importantes das populações de *T. urticae* e *N. californicus*, tais como, redução da longevidade e aumento da taxa intrínseca de crescimento das populações com o aumento da temperatura. Em todas as temperaturas verificou-se pela análise de série temporal, periodicidades relevantes nas séries temporais das populações de presa e predador. Inserida a predação no modelo, verificou-se que em todas as simulações realizadas a população de presas se extinguiu e o tempo de extinção tende a se estabilizar. Em temperaturas mais altas o tempo de extinção foi menor em todas as simulações realizadas.

Palavras-chave: Simulação computacional. Dinâmica de populações. Séries temporais.

ABSTRACT

Tetranychus urticae (Koch), known as the two spotted spider mite, is a pest which causes damage to many economically important crops in Brazil and worldwide. This species is becoming resistant to chemicals, which complicates management. An alternative is the biological control in which predatory mites are released in infested plantations in order to reduce or even extinguish the pest population. One of the species efficient in this control is the *Neoseiulus californicus* (McGregor) predatory mite, which is considered an excellent agent in controlling spider mites. In biology, specifically population dynamics, mathematical modeling and statistical and computational tools are being increasingly used to study the behavior of biological systems, complementing experimentation when predictive purposes are involved. Forecasting models are of great interest in Integrated Pest Management (IPM) programs, providing grants in order to establish practices for preventing and controlling pests and diseases. In this work, we conducted a study in order to describe biological and behavioral characteristics of the *T. urticae* mite and the *N. californicus* predatory mite, as well as the interaction dynamics between both species, via computer simulation based on experimental data reported in literature. The population dynamics were, first, treated separately, and then interacting with each other. The results indicate that the proposed model was able to reproduce important characteristics in both *T. urticae* and *N. californicus* populations, such as reduced longevity and the populations increased intrinsic growth rate in high temperatures. At all temperatures we verified the populations relevant frequency using time series analysis. Inserting predation into the model, we found that, in all simulations, the prey population became extinct, with extinction time tending to stabilize. In all simulations, at higher temperatures, extinction time was lower.

Keywords: Computer simulation. Population dynamics. Time Series.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Evolução temporal da população de <i>T. urticae</i> nas temperaturas de (a) 15 °C (b) 20 °C (c) 25 °C e (d) 30 °C.	42
Figura 2	Histograma do número de indivíduos em cada idade, normalizado em relação à idade 0, da população de <i>T. urticae</i> nas temperaturas de (a) 15 °C (b) 20 °C (c) 25 °C e (d) 30 °C.	43
Figura 3	Evolução temporal da população de <i>N. californicus</i> nas temperaturas de (a) 15 °C (b) 20 °C (c) 25 °C e (d) 30 °C.	46
Figura 4	Histograma da proporção de indivíduos em cada idade relativo a idade 0 para <i>N. californicus</i> nas temperaturas de (a) 15°C (b)20°C (c) 25°C e (d) 30°C.	47
Figura 5	Tempo de extinção da presa <i>T. urticae</i> em função da razão inicial predador/presa (μ) nas temperaturas de (a) 20 °C, (b) 25 °C e (c) 30 °C.	49
Figura 6	Consumo médio diário de presas por fêmeas adultas de <i>N. californicus</i> nas temperaturas de 20 °C, 25 °C e 30 °C.	51
Figura 7	Número médio diário de filhos por fêmeas adultas de <i>N. californicus</i> nas temperaturas de 20 °C, 25 °C e 30 °C.	51
Figura 8	Evolução temporal da população de <i>T. urticae</i> na temperatura de 15 °C.	52
Figura 9	Periodograma da série da população de <i>T. urticae</i> na temperatura de 15 °C.	53
Figura 10	Correlograma da série estacionária da população de <i>T. urticae</i> na temperatura de 15 °C.	54

Figura 11	Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.	55
Figura 12	Evolução temporal da população de <i>T. urticae</i> na temperatura de 20 °C.	56
Figura 13	Periodograma da série da população de <i>T. urticae</i> na temperatura de 20 °C.	56
Figura 14	Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.	57
Figura 15	Evolução temporal da população de <i>T. urticae</i> na temperatura de 25 °C.	58
Figura 16	Periodograma da série da população de <i>T. urticae</i> na temperatura de 25 °C.	59
Figura 17	Correlograma da série estacionária da população de <i>T. urticae</i> na temperatura de 25 °C.	60
Figura 18	Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.	61
Figura 19	Evolução temporal da população de <i>T. urticae</i> na temperatura de 30 °C.	62
Figura 20	Periodograma da série da população de <i>T. urticae</i> na temperatura de 30 °C.	62
Figura 21	Correlograma da série estacionária da população de <i>T. urticae</i> na temperatura de 30 °C.	63
Figura 22	Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.	64
Figura 23	Evolução temporal da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 15 °C.	65

Figura 24	Periodograma da série da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 15 °C.	66
Figura 25	Correlograma da série estacionária da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 15 °C.	67
Figura 26	Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.	67
Figura 27	Evolução temporal da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 20 °C.	68
Figura 28	Periodograma da série da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 20 °C.	69
Figura 29	Correlograma da série estacionária da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 20 °C.	70
Figura 30	Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.	70
Figura 31	Evolução temporal da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 25 °C.	71
Figura 32	Periodograma da série da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 25 °C.	72
Figura 33	Correlograma da série estacionária da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 25 °C.	73
Figura 34	Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.	74
Figura 35	Evolução temporal da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 30 °C.	75
Figura 36	Periodograma da série da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 30 °C.	75

Figura 37 Correlograma da série estacionária da população de <i>N. californicus</i> na temperatura de 30 °C.	76
Figura 38 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Razão sexual (rs) e taxa intrínseca de crescimento (rm) de <i>T. urticae</i>	21
Tabela 2	Intervalo a 95% de confiança para a longevidade de fêmeas e machos adultos de <i>T. urticae</i> acasalados e não acasalados (BERTOLLO, 2007).	22
Tabela 3	Tempo de Desenvolvimento à fase adulta de fêmeas (α_F) e machos (α_M), duração da fase de ovo (ε), período de pré-oviposição (γ), período de oviposição (β), todos em dias e fecundidade total (B) de <i>T. urticae</i> . Os índices 1 e 2 referem-se, respectivamente, a fêmeas não acasaladas e acasaladas (BERTOLLO, 2007).	22
Tabela 4	Tempo de desenvolvimento à fase adulta (α), duração da fase de ovo (ε), período de pré-oviposição (γ), período de oviposição (β), todos em dias, fecundidade (B), razão sexual (rs) e taxa intrínseca de crescimento (rm) de <i>N. californicus</i> alimentados com <i>T. urticae</i> (VASCONCELOS, 2006).	23
Tabela 5	Intervalo a 95% de confiança para a longevidade, em dias, de machos e fêmeas adultos de <i>N. californicus</i> alimentados com <i>T. urticae</i> (VASCONCELOS, 2006).	24
Tabela 6	Consumo diário por sexo e estágios (GOTOH; TSUCHIYA; KITASHIMA, 2006)	24
Tabela 7	Parâmetros do modelo para resposta funcional tipo II de Holling para fêmeas adultas de <i>N. californicus</i> alimentadas de <i>T. urticae</i> (GOTOH; NOZAWA; YAMAGUCHI, 2004).	25

Tabela 8	Parâmetros usados no modelo computacional para <i>T. urticae</i> . Tempo de desenvolvimento à fase adulta (R), período de pré-oviposição (γ), duração da fase de ovo (ε), todos em dias, fecundidade diária ($b = B/\beta$), obtidos por Bertollo (2007), probabilidade de gerar descendentes fêmeas (r_s) (BOUNFOUR; TANIGOSHI, 2001) e o parâmetro E ajustado.	36
Tabela 9	Parâmetros usados no modelo computacional para <i>N. californicus</i> . Tempo de desenvolvimento à fase adulta (R), período de pré-oviposição (γ), duração da fase de ovo (ε), todos em dias, fecundidade diária ($b = B/\beta$), probabilidade de gerar descendentes fêmeas (r_s), obtidos por Vasconcelos (2006) e o parâmetro E ajustado.	36
Tabela 10	Valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-), obtidos experimentalmente e por simulação, e do tamanho populacional (\bar{N}) de <i>T. urticae</i> obtidos por simulação, em diferentes temperaturas.	43
Tabela 11	Valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-) e longevidades da população de <i>T. urticae</i> , obtidos nas simulações por Oliveira, Martins e Zacarias (2013) (fêmea/macho), em diferentes temperaturas.	44
Tabela 12	Diferenças percentuais (%), em relação aos valores experimentais obtidos por Bounfour e Tanigoshi (2001), dos valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-) da população de <i>T. urticae</i> obtidos nas simulações e por Oliveira, Martins e Zacarias (2013), em diferentes temperaturas.	44

Tabela 13	Valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-), obtidos experimentalmente e por simulação, e do tamanho populacional (\bar{N}) de <i>N. californicus</i> obtidos por simulação, em diferentes temperaturas.	47
Tabela 14	Valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-) e longevidades da população de <i>N. californicus</i> , obtidos nas simulações e por Oliveira, Martins e Zacarias (2013) (fêmea/macho), em diferentes temperaturas.	48
Tabela 15	Diferenças percentuais (%), em relação aos valores experimentais obtidos por Vasconcelos (2006), dos valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-) da população de <i>N. californicus</i> obtidos nas simulações e por Oliveira, Martins e Zacarias (2013), em diferentes temperaturas.	48
Tabela 16	Estimativa do parâmetro do modelo (4.1) e seu erro padrão para a série da população de <i>T. urticae</i> a 15 °C.	54
Tabela 17	Estimativas dos parâmetros do modelo (4.3) e seu erro padrão para a série da população de <i>T. urticae</i> a 20 °C.	57
Tabela 18	Estimativa do parâmetro do modelo (4.5) e seu erro padrão para a série da população de <i>T. urticae</i> a 25 °C.	59
Tabela 19	Estimativa do parâmetro do modelo (4.7) e seu erro padrão para a série da população de <i>T. urticae</i> a 30 °C.	63
Tabela 20	Estimativa do parâmetro do modelo (4.9) e seu erro padrão para a série da população de <i>N. californicus</i> a 15 °C.	66
Tabela 21	Estimativa do parâmetro do modelo (4.11) e seu erro padrão para a série da população de <i>N. californicus</i> a 20 °C.	69

Tabela 22	Estimativa do parâmetro do modelo (4.13) e seu erro padrão para a série da população de <i>N. californicus</i> a 25 °C.	73
Tabela 23	Estimativa do parâmetro do modelo (4.15) e seu erro padrão para a série da população de <i>N. californicus</i> a 30 °C.	76
Tabela 24	Períodos de sazonalidade das séries da população de <i>T. urticae</i> e <i>N. californicus</i> a 15 °C, 20 °C, 25 °C e 30 °C.	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos	18
1.1.1	Objetivo geral	19
1.1.2	Objetivos específicos	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	<i>Tetranychus urticae</i> (Koch)	20
2.2	<i>Neoseiulus californicus</i> (McGregor)	22
2.3	Séries temporais	25
2.3.1	Tendência	26
2.3.1.1	Teste do Sinal (Cox-Stuart)	27
2.3.2	Sazonalidade	28
2.3.2.1	Teste de Fisher	29
2.3.3	Modelos de Box e Jenkins	30
2.3.3.1	Modelos ARIMA sazonal - SARIMA	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	Dinâmica de uma população	34
3.2	Dinâmica de interação das populações	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1	Simulação computacional da dinâmica temporal de <i>Tetranychus urticae</i> a diferentes temperaturas	41
4.2	Simulação computacional da dinâmica temporal de <i>Neoseiulus californicus</i> a diferentes temperaturas	45
4.3	Simulação computacional da dinâmica de interação entre a presa <i>T. urticae</i> e predador <i>N. californicus</i> a diferentes temperaturas	49
4.4	Análise das séries temporais	51
4.4.1	Análise das séries da população de <i>T. urticae</i>	52
4.4.1.1	Análise à temperatura de 15 °C	52
4.4.1.2	Análise à temperatura de 20 °C	55
4.4.1.3	Análise à temperatura de 25 °C	58
4.4.1.4	Análise à temperatura de 30 °C	61
4.4.2	Análise das séries da população de <i>N. californicus</i>	64
4.4.2.1	Análise à temperatura de 15 °C	65
4.4.2.2	Análise à temperatura de 20 °C	68
4.4.2.3	Análise à temperatura de 25 °C	71
4.4.2.4	Análise à temperatura de 30 °C	74
5	CONCLUSÃO	79

REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE	84

1 INTRODUÇÃO

A espécie de ácaro *Tetranychus urticae* (Koch), conhecido como ácaro rajado (Acari: Tetranychidae), é uma praga agrícola cosmopolita que ataca diferentes plantas. Sua ocorrência está relacionada com as condições climáticas; altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar são fatores ideais para seu desenvolvimento. Estes ácaros começam a se alimentar na fase de larva logo após a eclosão. O ataque às folhas causa danos às plantas, tais como, redução do porte, necrose, desfolha, maturação precoce, dentre outros, causando sérios prejuízos às culturas. Devido a suas severas infestações é considerado o ácaro fitófago de maior nocividade para a economia mundial (FLECHTMANN, 1983; GALLO et al., 2002).

T. urticae apresenta extrema resistência a pesticidas (GRBIC et al., 2011), se tornando um grande problema no seu controle, além disso, o uso indiscriminado de produtos químicos causa um impacto ambiental negativo bastante significativo. Então, o controle biológico em plantações infestadas, vem sendo usado para o manejo e controle desta espécie. Ácaros predadores da família Phytoseiidae são uma opção viável para este controle. A espécie *Neoseiulus californicus* (McGregor) é considerada muito eficiente no controle da espécie *T. urticae*.

Em biologia, especificamente no estudo de dinâmica de populações, a modelagem matemática, estatística e computacional são ferramentas complementares à experimentação quando propósitos preditivos estão envolvidos. Modelos de previsão são de grande interesse em Programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), pois fornece subsídios para se estabelecer práticas de prevenção e controle de pragas e doenças (ZAMBOLIM, 2000).

Diante da importância econômica e biológica dessas espécies, neste trabalho, será proposto um modelo computacional para a dinâmica populacional

das espécies *T. urticae* e *N. californicus* nas temperaturas 15, 20, 25 e 30 °C, bem como a interação presa-predador, nas diferentes temperaturas, fundamentado em características biológicas e comportamentais destas espécies. As análises das séries das populações, geradas pela simulação, foram feitas aplicando-se as técnicas de séries temporais, visto que estes dados são gerados ao longo do tempo.

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho veio dos modelos desenvolvidos por Oliveira, Martins e Zacarias (2013). Nesses modelos, a dinâmica populacional das espécies *T. urticae* e *N. californicus*, assim como a dinâmica de interação entre essas espécies, foram tratadas de uma maneira bastante complexa, por meio de adaptações feitas ao Modelo Penna (PENNA, 1995), de acordo com a biologia destes ácaros. Numa versão mais simplificada, desconsiderando a representação do genoma do indivíduo, presente no Modelo Penna, a dinâmica populacional e de interação das espécies *T. urticae* e *N. californicus* foram tratadas através de modelos que serão descritos nas próximas seções.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: Na seção 2 apresentam-se os aspectos biológicos e comportamentais das espécies *T. urticae* e *N. californicus*, encontram-se também nesta seção as definições gerais relacionadas ao estudo de séries temporais. Os modelos propostos são apresentados na seção 3. Na seção 4 apresenta-se os resultados e discussões relativos às simulações realizadas, bem como as análises das séries temporais das populações. Na última seção encontram-se as conclusões.

1.1 Objetivos

Os objetivos deste trabalho estão descritos nas subseções seguintes.

1.1.1 Objetivo geral

O desenvolvimento de modelos que explorem satisfatoriamente alguns aspectos relativos à dinâmica populacional do ácaro rajado e que possam contribuir para a elaboração de planos e estratégias que visem o manejo dessa praga.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Reproduzir características importantes das populações de *T. urticae* e *N. californicus*, via simulação computacional, a diferentes temperaturas;
2. Buscar com a análise de séries temporais, periodicidades relevantes nas populações de presa e predador;
3. Comparar via simulação computacional, a dinâmica de interação presa-predador das espécies *T. urticae* e *N. californicus*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, é apresentada uma revisão de literatura, que visa abordar conceitos fundamentais relativos à biologia e comportamento das espécies *T. urticae* e *N. californicus*, ao controle do ácaro rajado e às séries temporais.

2.1 *Tetranychus urticae* (Koch)

Tetranychus urticae (Koch), mais conhecido como ácaro rajado, é uma espécie de ácaro praga da família Tetranychidae. Encontrada em vários estados brasileiros, o ácaro-rajado é uma espécie cosmopolita que ocorre em diversas espécies de plantas, como algodão, berinjela, feijoeiro, macieira, mamoeiro, mandioca, mandioquinha-salsa, morangueiro, pessegueiro, roseira, tomateiro, dentre outras (FLECHTMANN, 1976).

Em seu ciclo de vida *T. urticae* passa pela fase de ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adulto; as fêmeas adultas medem cerca de 0,5 mm de comprimento, tanto as fêmeas fecundadas, quanto as virgens dão origem a descendentes (FLECHTMANN, 1976).

As populações de *T. urticae* formam colônias, principalmente, na parte inferior das folhas, recobrando-as com uma apreciável quantidade de teias. O ataque às folhas causam sérios danos às plantas, tais como, redução do porte, necrose, desfolha, maturação precoce, dentre outros. Devido a suas severas infestações é considerado o ácaro fitófago de maior nocividade para a economia mundial (FLECHTMANN, 1983; GALLO et al., 2002).

O combate desta praga nas culturas é feito, principalmente, utilizando métodos de controle químico. No entanto, com o desenvolvimento de populações resistentes pelo uso inadequado de pesticidas, o controle biológico constitui-se

como uma alternativa viável e ecologicamente correta para o controle desta e outras espécies de ácaro que são pragas agrícolas (GERSON; SMILEY; OCHOA, 2003; VASCONCELOS, 2006).

A ocorrência do ácaro rajado se relaciona com as condições climáticas, a interação entre a umidade do ambiente e a temperatura. Altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar são condições ideais para seu desenvolvimento. Estudos comprovam que temperaturas mais elevadas promovem o decréscimo da longevidade, aumento da taxa de oviposição e aumento da fecundidade de algumas espécies de ácaro e também para o ácaro rajado (BERTOLLO, 2007; BOUNFOUR; TANIGOSHI, 2001).

Em condições de laboratório Bertollo (2007) avaliou os efeitos das temperaturas de 15 °C, 20 °C, 25 °C e 30 °C na biologia do *T. urticae*, alimentados com folha de soja, em indivíduos acasalados e não acasalados. Bounfour e Tanigoshi (2001) e Kasap (2004) também avaliaram em laboratório alguns parâmetros biológicos de *T. urticae* sob diferentes temperaturas coletados em folhas de framboesa vermelha e maçã (*Malus communis L.*), respectivamente. Dentre os diferentes parâmetros biológicos avaliados, o tempo de desenvolvimento à fase adulta para fêmeas e machos, a duração da fase de ovo, os períodos de pré-oviposição e oviposição, a longevidade de adultos, todos em dias, a fecundidade total, a razão sexual e a taxa intrínseca de crescimento são apresentados nas Tabelas 1 a 3.

Tabela 1 Razão sexual (rs) e taxa intrínseca de crescimento (rm) de *T. urticae*.

Temperatura	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C
Bounfour e Tanigoshi (2001) - rs	0.65	0.63	0.65	0.63	—
Bounfour e Tanigoshi (2001) - rm	0.084	0.166	0.188	0.321	—
Kasap (2004) - rs	—	0.85	0.80	0.86	0.83
Kasap (2004) - rm	—	0.161	0.240	0.302	0.256

Tabela 2 Intervalo a 95% de confiança para a longevidade de fêmeas e machos adultos de *T. urticae* acasalados e não acasalados (BERTOLLO, 2007).

<i>Temperatura</i>	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Fêmea não acasalada	[39.3; 55.1]	[34.8; 46.8]	[17.9; 22.6]	[14.2; 18.0]
Fêmea acasalada	[35.3; 52.1]	[17.6; 25.8]	[14.3; 19.7]	[10.1; 14.3]
Macho não acasalado	[14.9; 52.5]	[27.5; 45.3]	[16.0; 34.2]	[12.9; 35.3]
Macho acasalado	[44.1; 65.1]	[24.2; 34.2]	[22.4; 32.2]	[9.4; 15.0]

Tabela 3 Tempo de Desenvolvimento à fase adulta de fêmeas (α_F) e machos (α_M), duração da fase de ovo (ε), período de pré-oviposição (γ), período de oviposição (β), todos em dias e fecundidade total (B) de *T. urticae*. Os índices 1 e 2 referem-se, respectivamente, a fêmeas não acasaladas e acasaladas (BERTOLLO, 2007).

<i>Temperatura</i>	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
α_F	29	17	8	7
α_M	31	15	8	7
ε	13	7	3	3
γ_1	5	2	2	1
γ_2	5	2	2	1
β_1	18	31	14	12
β_2	26	16	12	10
B_1	32	95	56	62
B_2	49	50	42	38

2.2 *Neoseiulus californicus* (McGregor)

A espécie de ácaro predador *Neoseiulus californicus* (McGregor), ocorre em áreas úmidas e áridas de regiões subtropicais e temperadas da América do Sul e também em áreas áridas do sul da Califórnia e Europa (MCMURTRY; CROFT, 1997).

O ácaro predador *N. californicus* é considerado um excelente agente de controle biológico de ácaros fitófagos em diferentes culturas, pois possui alta

capacidade de predação, rápido crescimento populacional, boa adaptação às características climáticas dos habitats onde as plantas se encontram e considerável resistência aos pesticidas (FRAULO; MCSORLEY; LIBURD, 2008; VASCONCELOS, 2006). Vem sendo de maneira bem sucedida empregado no controle da praga *T. urticae*, utilizado em vários continentes e em diferentes culturas.

Com o objetivo de comparar os parâmetros biológicos a diferentes temperaturas de *N. californicus*, alimentado com a presa *T. urticae*, obtidos de colônias mantidas em laboratório sobre plantas de *Canavalia ensiformis* (feijão de porco), Vasconcelos (2006) conduziu uma pesquisa em laboratório a 15 °C, 20 °C, 25 °C, e 30 °C. Foram avaliados para cada temperatura, o tempo de desenvolvimento à fase adulta, a duração da fase de ovo, os períodos de pré-oviposição e oviposição, as longevidades de adultos, todos em dias, a razão sexual e a taxa intrínseca de crescimento. Estes parâmetros biológicos são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 Tempo de desenvolvimento à fase adulta (α), duração da fase de ovo (ε), período de pré-oviposição (γ), período de oviposição (β), todos em dias, fecundidade (B), razão sexual (rs) e taxa intrínseca de crescimento (rm) de *N. californicus* alimentados com *T. urticae* (VASCONCELOS, 2006).

<i>Temperatura</i>	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
α	12	8	4	4
ε	4	3	2	1
γ	5	3	2	1
β	29	25	19	15
B	35	39	38	32
rs	0.64	0.73	0.78	0.69
rm	0.101	0.183	0.261	0.386

Tabela 5 Intervalo a 95% de confiança para a longevidade, em dias, de machos e fêmeas adultos de *N. californicus* alimentados com *T. urticae* (VASCONCELOS, 2006).

<i>Temperatura</i>	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Macho	[39.5; 60.7]	[33.6; 46.2]	[23.5; 34.9]	[18.1; 27.1]
Fêmea	[23.2; 41.6]	[18.0; 36.0]	[16.6; 31.0]	[11.0; 31.8]

Gotoh, Tsuchiya e Kitashima (2006) realizaram experimentos para analisar a influência no desenvolvimento, reprodução e consumo de *N. californicus* alimentado com cinco espécies de presas, incluindo *T. urticae* que foi cultivada em folhas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). Neste estudo, constataram que os machos consumiram significativamente menos presas que as fêmeas quando alimentados por *T. urticae*. O consumo diário por machos e fêmeas em diferentes estágios é representado na Tabela 6.

Tabela 6 Consumo diário por sexo e estágios (GOTOH; TSUCHIYA; KITASHIMA, 2006)

Estágios	Fêmea	Macho
Imaturo	0.17	0.11
Adulto	0.19	0.19
Adulto em oviposição	1.00	–
Adulto em pós-oviposição	0.18	–

O consumo de ovos da presa *T. urticae* por fêmeas adultas e também nos estágios imaturos do predador *N. californicus*, foi estudado por Gotoh, Nozawa e Yamaguchi (2004) nas temperaturas de 20 °C, 25 °C, e 30 °C, onde observaram que o predador alimentado de ovos de *T. urticae*, possui uma resposta funcional do tipo II de Holling, dada por:

$$y = \frac{atx}{1 + ahx}, \quad (2.1)$$

sendo y o número de presas consumidas por *N. californicus*, durante um tempo de exposição t , a é a taxa de busca com sucesso, h é o tempo de manuseio do predador e x é a densidade inicial de presas. Os parâmetros a e h foram ajustados para as três temperaturas, apresentados na Tabela 7, utilizando o tempo de exposição de um dia.

Tabela 7 Parâmetros do modelo para resposta funcional tipo II de Holling para fêmeas adultas de *N. californicus* alimentadas de *T. urticae* (GOTOH; NOZAWA; YAMAGUCHI, 2004).

Temperatura	a	h
20 °C	1.1614	0.0350
25 °C	1.3000	0.0290
30 °C	1.1816	0.0206

2.3 Séries temporais

Segundo Morettin e Tolo (2006), uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo, onde pode-se estar interessado em investigar o mecanismo gerador da série temporal, fazer previsão de valores futuros, procurar periodicidades relevantes nos dados ou apenas descrever o comportamento da série. A análise de uma série temporal leva em conta a correlação entre os dados. Geralmente tem-se por objetivo construir um modelo para esta série.

De maneira geral, uma série temporal $Z_t : z_1, z_2, \dots, z_N$ pode ser decomposta numa soma de três componentes não observáveis, no caso onde essas componentes são independentes, o modelo é da forma aditiva:

$$Z_t = T_t + S_t + a_t. \quad (2.2)$$

Se as componentes sazonais variam de acordo com a tendência, o modelo

mais adequado é o multiplicativo,

$$Z_t = T_t S_t a_t, \quad (2.3)$$

sendo que T_t e S_t representam a tendência e a sazonalidade, respectivamente, e a_t é a componente aleatória, de média zero e variância constante.

No caso em que o modelo é multiplicativo, pode ocorrer um acréscimo na variância à medida que o tempo passa, então são utilizadas as transformações para estabilizar a variância e também para tornar o efeito sazonal aditivo (MORETTIN; TOLOI, 2006).

Uma das suposições que se faz a respeito de uma série temporal é a de que ela é estacionária, ou seja, se desenvolve no tempo ao redor de uma média constante. Contudo, a maioria das séries apresenta componentes como tendência e sazonalidade, para torná-las estacionárias aplicam-se diferenças na série original, buscando-se estimar e retirar esses componentes da série. Assim, a metodologia para ajuste de modelos de Box e Jenkins pode ser aplicada (MORETTIN; TOLOI, 2006).

O primeiro passo para se analisar uma série temporal é construir seu gráfico que revelará características importantes, como a presença de componentes sazonais ou de tendência e também variabilidade e valores atípicos (*outliers*).

2.3.1 Tendência

A tendência de uma série temporal pode ser entendida como uma mudança gradual (aumento ou diminuição) nos valores das observações ao longo do tempo. De acordo com Morettin e Tolo (2006), os casos mais simples são os de tendência linear, onde a série flutua ao redor de uma reta com inclinação positiva ou negativa.

Existem também, casos onde esta tendência é não linear como, por exemplo, o crescimento de uma colônia de bactérias, que aumenta exponencialmente.

Para estimar a tendência T_t são utilizados métodos como: ajuste polinomial e suavização, descritos em Moretin e Tolo (2006).

Supondo a ausência de sazonalidade e estimando-se a tendência \hat{T}_t , podemos obter a série ajustada para tendência ou livre de tendência

$$Y_t = Z_t - \hat{T}_t. \quad (2.4)$$

Outra maneira de retirar a tendência de uma série é aplicar diferenças sucessivas na série original. A primeira diferença é definida por

$$\Delta Z(t) = Z(t) - Z(t - 1), \quad (2.5)$$

sendo Δ o operador diferença. De modo geral a n -ésima diferença de $Z(t)$ é

$$\Delta^n Z(t) = \Delta[\Delta^{n-1} Z(t)]. \quad (2.6)$$

Para verificar a existência da componente tendência são utilizados os testes de sequências (Wald-Wolfowitz), o teste baseado no coeficiente de correlação de Spearman, descritos em Moretin e Tolo (2006) e o Teste do Sinal (Cox-Stuart), descrito a seguir.

2.3.1.1 Teste do Sinal (Cox-Stuart)

Considere as N observações $Z_t, t = 1, \dots, N$, de uma série temporal. Para aplicar o Teste do Sinal deve-se proceder às seguintes etapas:

1. agrupam-se as observações em pares $(Z_1, Z_{1+c}), (Z_2, Z_{2+c}), \dots, (Z_{N-c}, Z_N)$, sendo $c = \frac{N}{2}$, se N for par ou $c = \frac{N+1}{2}$, se N for ímpar;
2. a cada par (Z_i, Z_{i+c}) associa-se o sinal $+$ se $Z_i < Z_{i+c}$ e o sinal $-$ se $Z_i > Z_{i+c}$. Eliminam-se os casos em que $Z_i = Z_{i+c}$. Atribui-se a n o número de pares em que $Z_i \neq Z_{i+c}$;
3. testa-se a hipótese de nulidade;
 H_0 : não existe tendência.
 A estatística do teste a ser utilizada é dada por T , sendo T o número de sinais positivos atribuídos na comparação entre Z_i e Z_{i+c} ;
4. compara-se a estatística T com o valor de t , dado por

$$t = \frac{1}{2}(n + \omega_{\alpha/2}\sqrt{n}), \quad (2.7)$$

sendo n o número de pares em que $Z_i \neq Z_{i+c}$ e $\omega_{\alpha/2}$ o valor tabelado ao nível de significância α . Se $n \leq 20$, o valor tabelado de $\omega_{\alpha/2}$ é dado pela distribuição binomial com $p = 0,5$ e, se $n > 20$, utiliza-se a distribuição normal;

5. rejeita-se H_0 se $T \geq n - t$.

2.3.2 Sazonalidade

A sazonalidade consiste em uma flutuação periódica, ocorrendo em períodos interanuais como, por exemplo, trimestralmente, mensalmente ou diariamente.

Existem vários procedimentos para estimação da componente sazonal, os principais e mais usados são: o método de regressão e o de médias móveis.

Segundo Morettin e Tolo (2006), o método de regressão é ótimo para séries com sazonalidade determinísticas, ou seja, que possuem um padrão sazonal regular e estável no tempo, e que podem ser previstas a partir de dados anteriores. Já no caso onde a sazonalidade é estocástica, cuja componente sazonal varia de acordo com o tempo, o método de médias móveis é o mais apropriado.

Obtidas as estimativas \widehat{S}_t da componente sazonal, a série pode ser escrita livre desta componente, subtraindo-se \widehat{S}_t , caso o modelo seja aditivo:

$$Z_t^{SA} = Z(t) - \widehat{S}_t, \quad (2.8)$$

se o modelo for multiplicativo, tem-se

$$Z_t^{SA} = Z(t)/\widehat{S}_t. \quad (2.9)$$

Para verificar a existência da componente sazonal na série, aplica-se um teste para sazonalidade. Os testes mais comuns são: o teste de Fridman, teste de Kruskal-Wallis, o teste F para Análise de Variância descritos em Morettin e Tolo (2006) e o teste de Fisher descrito a seguir.

2.3.2.1 Teste de Fisher

Segundo Priestley (1989), o teste de Fisher utiliza valores do periodograma e detecta grandes periodicidades. O periodograma do processo estacionário (a_t) é definido como

$$I_p(f_i) = \frac{2}{N} \left[\left(\sum_{t=1}^n a_t \cos \frac{2\pi i}{N} t \right)^2 + \left(\sum_{t=1}^N a_t \sin \frac{2\pi i}{N} t \right)^2 \right] \quad (2.10)$$

com $0 < f_i < \frac{1}{2}$ e $t = 1, 2, \dots, N$ em que $I(f_i)$ indica a intensidade da frequência f_i . A periodicidade pode ser verificada observando-se a existência de picos na frequência $f_i = \frac{i}{N}$, o que indica uma periodicidade de período $\frac{1}{f_i}$.

Se é observado que o periodograma contém um número de picos, não se pode concluir imediatamente que cada um desses corresponde a um componente periódico. Deve-se testar se estes picos não são devido apenas às flutuações aleatórias amostrais.

Para aplicar o Teste de Fisher, deve-se proceder às seguintes etapas:

1. plota-se o periodograma com o auxílio de algum software estatístico;
2. calcula-se a estatística:

$$g = \frac{\max(I_p)}{\sum_{p=1}^{N/2} I_p}, \quad (2.11)$$

sendo I_p o valor do periodograma no período p ;

3. calcula-se a estatística do teste de Fisher, z_α , dada por

$$z_\alpha = 1 - \left(\frac{\alpha}{n}\right)^{1/(n-1)}, \quad (2.12)$$

sendo $n = \frac{N}{2}$ e α o nível de significância do teste;

4. testa-se a hipótese de nulidade.

H_0 : não existe periodicidade.

Se $g > z_\alpha$, rejeita-se H_0 , ou seja, a série apresenta período p .

2.3.3 Modelos de Box e Jenkins

Box e Jenkins (1976) apresentaram uma importante metodologia empregada na análise de modelos paramétricos, conforme tratado detalhadamente por

Morettin e Tolo (2006). Tal metodologia consiste em ajustar modelos auto-regressivos e de médias móveis, ARMA(p,q) a um conjunto de dados, em que p é a ordem do modelo auto-regressivo AR(p) e q a ordem do modelo de médias móveis MA(q). Sua forma geral é dada por:

$$\phi(B)Z_t = \theta(B)a_t, \quad (2.13)$$

sendo B o operador de translação para o passado, $\phi(B) = 1 - \phi_1B - \phi_2B^2 - \dots - \phi_pB^p$ o polinômio auto-regressivo, $\theta(B) = 1 - \theta_1B - \theta_2B^2 - \dots - \theta_qB^q$ o polinômio de médias móveis e a_t é o ruído branco, ou seja, uma sequência de erros aleatórios, independentes e identicamente distribuídos com média zero e variância constante.

Quando a série é não-estacionária do tipo homogênea, ou seja, tomando a primeira ou segunda diferença, ela se torna estacionária, o modelo utilizado é o auto-regressivo integrado médias móveis, ARIMA(p,d,q), da forma:

$$\phi(B)\Delta^d Z_t = \theta(B)a_t, \quad (2.14)$$

sendo d o número de diferenças necessárias para tornar a série estacionária, $\Delta = 1 - B$ o operador diferença, $\phi(B)$ o polinômio auto-regressivo e $\theta(B)$ o polinômio de médias móveis.

2.3.3.1 Modelos ARIMA sazonal - SARIMA

São representadas por modelos ARIMA sazonal (SARIMA) séries que apresentam componentes periódicos, determinísticos ou estocásticos. Segundo Morettin e Tolo (2006), uma série sazonal é estocástica quando apresenta correlações significativas nos *lags* sazonais, isto é, múltiplos de período s , e é

determinística, quando após tomar diferenças D a série se torna estacionária.

Um modelo $SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s$, é representado por:

$$\phi(B)\Phi(B)\Delta^d\Delta_s^D Z_t = \theta(B)\Theta(B^s)a_t, \quad (2.15)$$

em que

- a)** $\phi(B)$ e $\theta(B)$ são os polinômios auto-regressivos de ordem p e de médias móveis de ordem q , definidos anteriormente;
- b)** $\Phi(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_P B^{Ps}$ é o polinômio auto-regressivo sazonal de ordem P ;
- c)** $\Delta^d = (1 - B)^d$ é o operador diferença e d o número de diferenças necessárias para retirar a tendência da série;
- d)** $\Delta_s^D = (1 - B^s)^D$ é o operador diferença sazonal e D o número de diferenças sazonais necessárias para retirar a sazonalidade da série;
- e)** $\Theta(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_Q B^{Qs}$ o polinômio médias móveis sazonal de ordem Q .

3 METODOLOGIA

Oliveira, Martins e Zacarias (2013) propuseram um modelo para a dinâmica populacional das espécies *T. urticae* e *N. californicus* e também um modelo para a interação presa-predador entre estas espécies. Os modelos para dinâmica de uma e duas populações são adaptações do Modelo Penna (PENNA, 1995) em sua versão sexuada (BERNARDES, 1996), a partir de características biológicas e comportamentais das espécies mencionadas. O Modelo Penna é baseado na teoria do acúmulo de mutações deletérias para explicar o envelhecimento biológico através de variáveis booleanas e técnicas de manipulação de bits. Com estes modelos Oliveira, Martins e Zacarias (2013) simularam a dinâmica populacional de cada uma das espécies e a dinâmica de interação em diferentes temperaturas (15, 20, 25 e 30 °C). O comportamento de grandezas biológicas tais como tamanho populacional, taxa intrínseca de crescimento e sobrevivência dessas espécies foram analisados. Os efeitos da razão inicial predador-presa e da estrutura de idades das populações iniciais sobre o tempo de extinção da presa também foram investigados.

Com a motivação deste estudo realizado por Oliveira, Martins e Zacarias (2013), foram desenvolvidos neste trabalho, modelos computacionais, utilizando a linguagem C, para a dinâmica populacional de *T. urticae* e *N. californicus*, bem como a dinâmica de interação das espécies, em versões mais simplificadas do que os desenvolvidos por Oliveira, Martins e Zacarias (2013). Entende-se como versão mais simplificada aquela que, ao contrário do Modelo Penna, não leva em conta a representação genética do indivíduo. Para construção do modelo, foram utilizados os dados da biologia dos ácaros, apresentados na seção anterior. Inicialmente será apresentado o modelo para dinâmica de uma população. Logo a seguir, o modelo para a dinâmica de interação da presa *T. urticae* com o predador *N. californicus*.

3.1 Dinâmica de uma população

A população foi inicialmente constituída de N_0 indivíduos adultos, com uma probabilidade r_s de ser fêmea, definida pela razão sexual da espécie, que é a razão entre o número de fêmeas e a população total em uma dada etapa temporal. Cada indivíduo da população foi testado para reprodução, morte e envelhecimento.

As fêmeas adultas, após o período de pré-oviposição γ , geram b descendentes com o sexo definido também pela razão sexual (r_s), que assumiu os valores apresentados nas Tabelas 8 e 9. Para a espécie *T. urticae* considerou-se que a fêmea adulta sempre gerará descendentes, visto que tanto fêmeas fecundadas quanto as não-fecundadas são capazes de reproduzir. Já no caso da espécie *N. californicus*, as fêmeas adultas só reproduzirão se encontrarem um macho adulto, ou seja, com idade maior ou igual a R .

Considerou-se que a população tem um crescimento limitado, ou seja, segue o modelo de Verhulst (Logístico). Desta forma, para evitar a explosão populacional, será incluído o fator de regulação do tamanho populacional (fator de Verhulst). A cada etapa temporal indivíduos em idade superior a de ovo (idade $> \epsilon$), morrem devido às restrições ambientais com uma probabilidade dada por:

$$P_v = \frac{N(t)}{K}, \quad (3.1)$$

sendo $N(t)$ o tamanho da população em cada etapa temporal e K a capacidade de suporte do ambiente. Caso o indivíduo não morra devido ao fator de regulação, ele será testado para a morte por envelhecimento, com uma probabilidade dada por:

$$P = 1 - e^{-Ei} \quad (E > 0), \quad (3.2)$$

sendo i a idade do indivíduo na etapa temporal t e E um parâmetro de ajuste. Esta suposição é razoável, pois, segundo a Lei de Gompertz (MEDEIROS, 2001), a probabilidade de morte cresce exponencialmente com a idade. Assim, caso o indivíduo sobreviva, sua idade é incrementada de uma unidade.

Os parâmetros do modelo são, portanto, os seguintes:

1. R - Tempo de desenvolvimento à fase adulta;
2. γ - Período de pré-oviposição;
3. ε - Duração da fase de ovo;
4. b - Fecundidade diária;
5. r_s - Probabilidade de gerar descendentes fêmeas;
6. E - Parâmetro de ajuste da morte por envelhecimento;
7. K - Capacidade de suporte do ambiente.

O parâmetro K é independente da temperatura e assumiu o valor de 100000 para ambas espécies de ácaro. Os parâmetros R , ε , γ , b e r_s dependentes da temperatura, assumiram valores de acordo com os dados experimentais apresentados na seção anterior (Tabelas 3 e 4) e o parâmetro E foi ajustado para cada temperatura. Na definição destes parâmetros, tratando-se da espécie *T. urticae*, visto que a fêmea sempre gera descendentes, não fizemos distinção em relação à fecundação, ou seja, se as fêmeas eram fecundadas ou não, considerando neste caso valores médios. Os valores dos parâmetros são apresentados nas Tabelas 8 e 9, para *T. urticae* e *N. californicus*, respectivamente.

Tabela 8 Parâmetros usados no modelo computacional para *T. urticae*. Tempo de desenvolvimento à fase adulta (R), período de pré-oviposição (γ), duração da fase de ovo (ε), todos em dias, fecundidade diária ($b = B/\beta$), obtidos por Bertollo (2007), probabilidade de gerar descendentes fêmeas (r_s) (BOUNFOUR; TANIGOSHI, 2001) e o parâmetro E ajustado.

<i>Temperatura</i>	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
R	30	16	8	7
γ	5	2	2	1
ε	13	7	3	3
b	2	3	4	5
r_s	0.65	0.63	0.65	0.63
E	0.0029	0.010	0.035	0.056

Tabela 9 Parâmetros usados no modelo computacional para *N. californicus*. Tempo de desenvolvimento à fase adulta (R), período de pré-oviposição (γ), duração da fase de ovo (ε), todos em dias, fecundidade diária ($b = B/\beta$), probabilidade de gerar descendentes fêmeas (r_s), obtidos por Vasconcelos (2006) e o parâmetro E ajustado.

<i>Temperatura</i>	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
R	12	8	4	4
γ	5	3	2	1
ε	4	3	2	1
b	1	2	2	2
r_s	0.64	0.73	0.78	0.69
E	0.00785	0.025	0.078	0.015

É importante que se conheça a evolução temporal do tamanho da população. Assim, para cada etapa temporal t determinou-se o tamanho da população $N(t)$. As populações devem crescer de acordo com uma taxa, chamada taxa intrínseca de crescimento (r_m). Esta taxa está diretamente relacionada com a taxa finita de aumento r , o qual representa o fator de crescimento da população por geração ou por outro período específico, da seguinte forma (SILVEIRA NETO, 1976):

$$r_m = \ln(r), \quad (3.3)$$

com r dado por:

$$r = \frac{N_{t+1}}{N_t(1 - N_t/K)}. \quad (3.4)$$

sendo K a capacidade de suporte do ambiente. Dessa forma, para cada etapa temporal t , foram determinadas as taxas finita de aumento (r) e intrínseca de crescimento (r_m).

Para cada uma das populações foram realizadas simulações para as temperaturas de 15 °C, 20 °C, 25 °C e 30 °C. Em cada simulação foram realizadas 100000 etapas temporais, partindo de populações iniciais de *T. urticae* e *N. californicus* constituídas de 10000 indivíduos. Para o cálculo dos valores médios das variáveis observadas desprezou-se as primeiras 60000 etapas temporais iniciais (período de termalização do sistema).

Para a análise das séries temporais das populações de presa e predador, partiu-se da população inicial de 500 indivíduos. As séries das populações de *T. urticae* e *N. californicus* foram constituídas das primeiras observações, no período transiente, onde o sistema ainda não é estável. A metodologia aplicada para a análise das séries foi a seguinte:

1. análise gráfica visual da série original, verificando os indícios da existência de tendência e sazonalidade;
2. aplicação de testes para confirmar a existência de tendência e sazonalidade;

3. tomar as diferenças necessárias para retirar a tendência e sazonalidade determinística da série;
4. análise das funções de autocorrelação (fac) e autocorrelação parcial (facp) da série diferenciada, que indicam a ordem do modelo de médias móveis (MA) e do modelo autorregressivo (AR), respectivamente. Correlações significativas nos *lags* múltiplos de s (período sazonal), deve-se ajustar a parte sazonal do modelo;
5. ajuste do modelo e verificação se suas estimativas são significativas;
6. análise da fac e facp dos resíduos do modelo ajustado se o resíduo é ruído branco, confirmar pelo teste de Box e Pierce (BOX; PIERCE, 1970);
7. aplicação do critério de Akaike (AKAIKE, 1974) para escolha do melhor modelo que se ajusta aos dados.

Essas análises foram realizadas utilizando-se as funções do pacote *TSA* do software R.2.14.2.(R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

3.2 Dinâmica de interação das populações

Na dinâmica de uma população, a presa morre devido à competição ou envelhecimento. Agora, a presa poderá morrer também devido à predação. Para simular a interação entre as espécies em diferentes temperaturas, a predação será inserida em $t = 0$. Cada presa encontrada por um predador adulto (probabilidade de encontro de 50%), será consumida com uma probabilidade $\sigma = 0,5$. Cada vez que um predador consome uma presa, será computado o número de presas consumidas pelo predador até a etapa atual e em cada intervalo de tempo o

predador consome um número máximo de ovos de *T. urticae*, dado pela seguinte equação:

$$y_{max} = \pi \frac{atx}{1 + ahx}, \quad (3.5)$$

sendo que a e h assumiram valores para cada temperatura de acordo com a Tabela 7, t é o tempo de exposição de um dia, x é a densidade de presas na idade de ovo em cada etapa temporal, ou seja, o número de ovos por cm^2 . O parâmetro π é a taxa de consumo diário que assumiu os valores 1,0 e 0,19 para fêmeas e machos, respectivamente, de acordo com o experimento de Gotoh, Tsuchiya e Kitashima (2006) (Tabela 6), esses valores foram assumidos, visto que neste modelo, somente os adultos da espécie *N. californicus* predam, devido ao baixo consumo de presas nas outras fases.

A conversão de presas consumidas em ovos foi feita de acordo com os dados experimentais recolhidos por Canlas et al. (2006) e ajustado por Oliveira, Martins e Zacarias (2013). Assim, em cada etapa temporal, o número de ovos gerados pelas fêmeas é dado pela equação:

$$b = 2,75(1 - \exp(-0,05N_{Pred,j})), \quad (3.6)$$

sendo b a fecundidade diária (parte inteira) e $N_{Pred,j}$ o número acumulado de presas consumidas por cada predador adulto que não foram convertidos em ovos.

Por meio desta equação podemos notar que para o predador gerar um descendente é necessário que ele tenha consumido no mínimo 9 presas, ao contrário da dinâmica de uma população, onde o número de filhos gerado pela fêmea é um valor fixo. Então, no momento da reprodução, para cada filho gerado pelo predador são decrementadas nove unidades do número de presas consumidas. Predadores

cujo número de presas consumidas até a etapa temporal atual é menor que 9, não reproduzem até que esta condição seja atendida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados obtidos em todas as simulações e as análises das séries temporais das populações de presa e predador, bem como as discussões desses resultados.

4.1 Simulação computacional da dinâmica temporal de *Tetranychus urticae* a diferentes temperaturas

Na Figura 1, apresenta-se a evolução temporal da população de *T. urticae* nas temperaturas de 15 °C, 20 °C, 25 °C e 30 °C nas primeiras 1000 etapas temporais. É possível observar o crescimento limitado da população, devido ao fator de regulação do tamanho populacional (fator de Verhulst). O crescimento da população apresenta um comportamento assintótico semelhante ao crescimento populacional logístico, com a população oscilando em torno de um valor médio \bar{N} no regime não transiente. Além disso, observa-se os maiores valores de \bar{N} nas temperaturas mais altas (25 °C e 30 °C). Na Tabela 10, apresentam-se os valores médios para o tamanho populacional (\bar{N}) e para a taxa intrínseca de crescimento (\bar{r}_m). Os valores médios de \bar{r}_m no regime não transiente estão próximos aos obtidos experimentalmente por Bounfour e Tanigoshi (2001) e Kasap (2004). O maior valor obtido para \bar{r}_m neste modelo, ocorre na temperatura de 30 °C, em conformidade com os resultados experimentais.

Na Figura 2, apresentam-se os histogramas do número de indivíduos da população de *T. urticae* em cada idade, obtidos no regime não transiente (o número de indivíduos em cada idade foi normalizado em relação ao número de indivíduos na idade zero). Observa-se por meio destes histogramas um comportamento já observado em estudos experimentais (BERTOLLO, 2007; BOUNFOUR; TANI-

GOSHI, 2001; RIAHI et al., 2013), a diminuição da longevidade com o aumento da temperatura. Comparando-se as longevidades dos histogramas com os resultados experimentais na Tabela 2, verifica-se para todas as temperaturas, exceto 15 °C, longevidades dentro dos intervalos de confiança para as longevidades de macho e/ou fêmea de *T. urticae*. Na temperatura de 15 °C a longevidade de 70 dias, obtida pela simulação, encontra-se um pouco acima da máxima longevidade observada experimentalmente para *T. urticae* que é de 65,1 dias (Tabela 2).

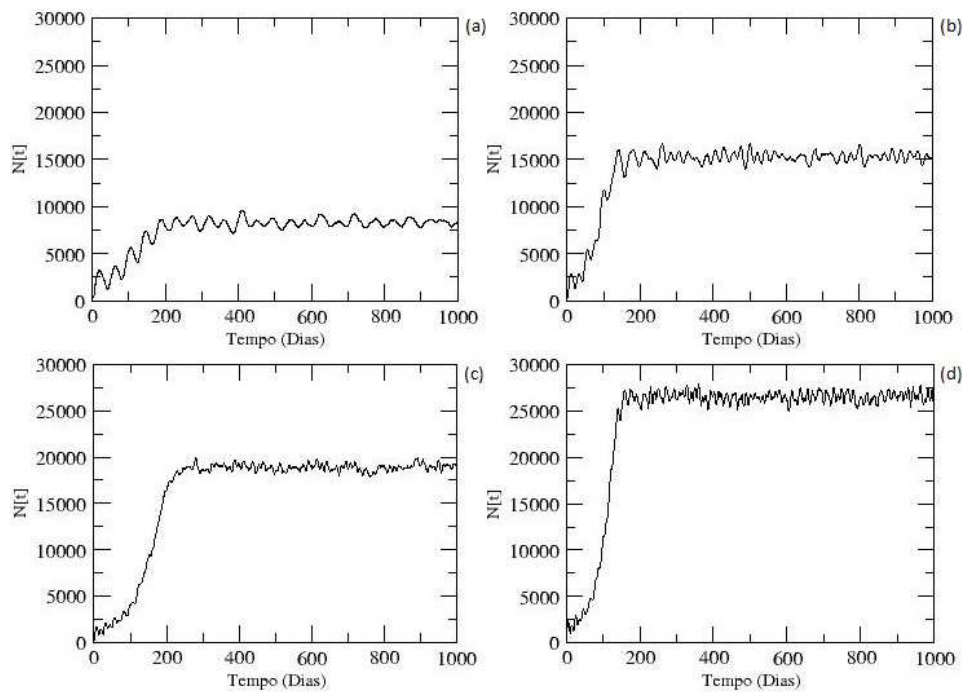


Figura 1 Evolução temporal da população de *T. urticae* nas temperaturas de (a) 15 °C (b) 20 °C (c) 25 °C e (d) 30 °C.

Tabela 10 Valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-), obtidos experimentalmente e por simulação, e do tamanho populacional (\bar{N}) de *T. urticae* obtidos por simulação, em diferentes temperaturas.

Temperatura	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
r_m^- —simulação	0,087	0,166	0,209	0,308
\bar{N} —simulação	8305	15313	18876	26501
r_m^- —Bounfour e Tanigoshi (2001)	0,084	0,166	0,188	0,321
r_m^- —Kasap (2004)		0,161	0,240	0,302

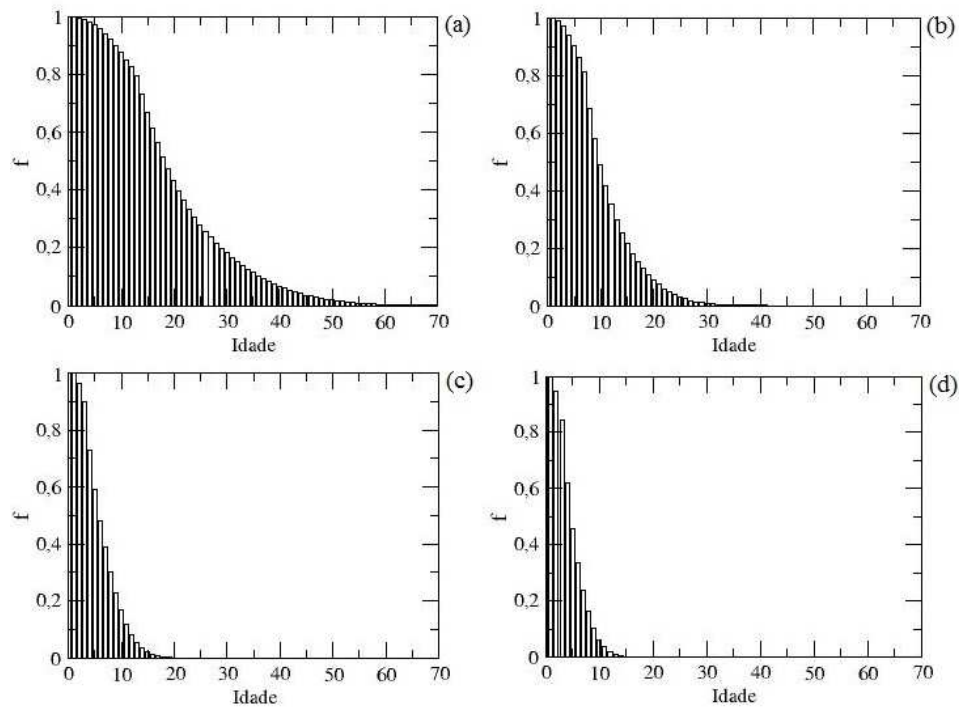


Figura 2 Histograma do número de indivíduos em cada idade, normalizado em relação à idade 0, da população de *T. urticae* nas temperaturas de (a) 15 °C (b) 20 °C (c) 25 °C e (d) 30 °C.

Na Tabela 11 pode-se verificar os valores médios da taxa intrínseca de crescimento e longevidades da população de *T. urticae* em diferentes temperaturas obtidas por meio da simulação e por Oliveira, Martins e Zacarias (2013). Observa-

se que as longevidades obtidas pela simulação apresentaram certas diferenças em relação aos valores obtidos por Oliveira, Martins e Zacarias (2013), principalmente em 15 °C e 30 °C, onde essas diferenças foram mais discrepantes. Para os valores médios da taxa intrínseca de crescimento, verifica-se que os valores obtidos pela simulação apresentaram uma menor diferença percentual em relação aos valores experimentais obtidos por Bounfour e Tanigoshi (2001) do que os obtidos por Oliveira, Martins e Zacarias (2013) (Tabela 12).

Tabela 11 Valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-) e longevidades da população de *T. urticae*, obtidos nas simulações por Oliveira, Martins e Zacarias (2013) (fêmea/macho), em diferentes temperaturas.

Temperatura	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
r_m^- - simulação	0,0870	0,1660	0,2090	0,3080
r_m^- - Bounfour e Tanigoshi (2001)	0,084	0,166	0,188	0,321
r_m^- - Oliveira, Martins e Zacarias (2013)	0,0754	0,1372	0,2154	0,2581
Longevidade simulação	70	41	20	15
Longevidade - Oliveira, Martins e Zacarias (2013)	60/57	42/39	27/25	24/24

Tabela 12 Diferenças percentuais (%), em relação aos valores experimentais obtidos por Bounfour e Tanigoshi (2001), dos valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-) da população de *T. urticae* obtidos nas simulações e por Oliveira, Martins e Zacarias (2013), em diferentes temperaturas.

Temperatura	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
r_m^- - simulação	3,6	0,0	11,2	4,1
r_m^- - Oliveira, Martins e Zacarias (2013)	10,2	17,3	14,6	19,6

4.2 Simulação computacional da dinâmica temporal de *Neoseiulus californicus* a diferentes temperaturas

Na Figura 3 apresenta-se a evolução temporal da população de *N. californicus* nas temperaturas de 15 °C, 20 °C, 25 °C e 30 °C nas primeiras 1000 etapas temporais. Como já observado na população de *T. urticae*, o crescimento é limitado pelo fator de regulação do tamanho populacional (fator de Verhulst). Desta forma, o crescimento da população apresenta um comportamento assintótico semelhante ao crescimento populacional logístico, com a população oscilando em torno de um valor médio \bar{N} no regime não transiente. Assim como na população de *T. urticae*, os maiores valores de \bar{N} ocorrem nas temperaturas de 25 °C e 30 °C. Na Tabela 13 apresentam-se os valores médios para o tamanho populacional (\bar{N}) e para a taxa intrínseca de crescimento (r_m^-). Os valores médios de r_m^- no regime não transiente estão próximos aos obtidos experimentalmente por Vasconcelos (2006), com a ocorrência do maior valor para r_m^- na temperatura de 30 °C, como observado na população de *T. urticae*.

Na Figura 4 apresentam-se os histogramas do número de indivíduos da população de *N. californicus* em cada idade, obtidos no regime não transiente (o número de indivíduos em cada idade foi normalizado em relação ao número de indivíduos na idade zero). Observa-se por meio destes histogramas nas temperaturas de 15 °C, 20 °C e 25 °C, um comportamento já observado por Vasconcelos (2006), a diminuição da longevidade com o aumento da temperatura. Na temperatura de 30 °C observa-se um aumento da longevidade em relação à temperatura de 25 °C. Observe que os parâmetros E (Equação 3.2) foram ajustados tendo como base as taxas intrínsecas de crescimento. Para redução da longevidade na temperatura de 30 °C seria necessário um aumento no parâmetro E , o que reduziria a taxa intrínseca de crescimento da população nesta temperatura.

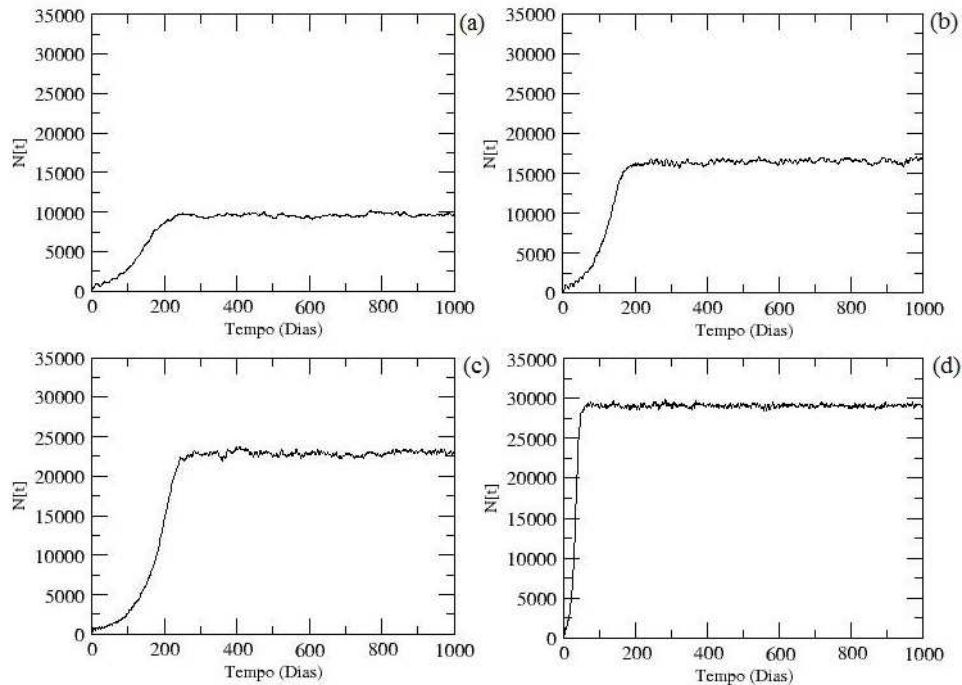


Figura 3 Evolução temporal da população de *N. californicus* nas temperaturas de (a) 15 °C (b) 20 °C (c) 25 °C e (d) 30 °C.

Comparando-se os histogramas com os resultados experimentais na tabela 5, verifica-se para todas as temperaturas, exceto 25 °C, longevidades dentro dos intervalos de confiança para as longevidades de macho e/ou fêmea de *N. californicus*. Na temperatura de 25 °C a longevidade está um pouco abaixo da mínima longevidade observada experimentalmente para *N. californicus* (16,6 dias).

Tabela 13 Valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-), obtidos experimentalmente e por simulação, e do tamanho populacional (\bar{N}) de *N. californicus* obtidos por simulação, em diferentes temperaturas.

Temperatura	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
r_m^- —simulação	0,101	0,178	0,260	0,344
\bar{N} —simulação	9625	16451	22896	29092
rm —Vasconcelos (2006)	0,101	0,183	0,261	0,386

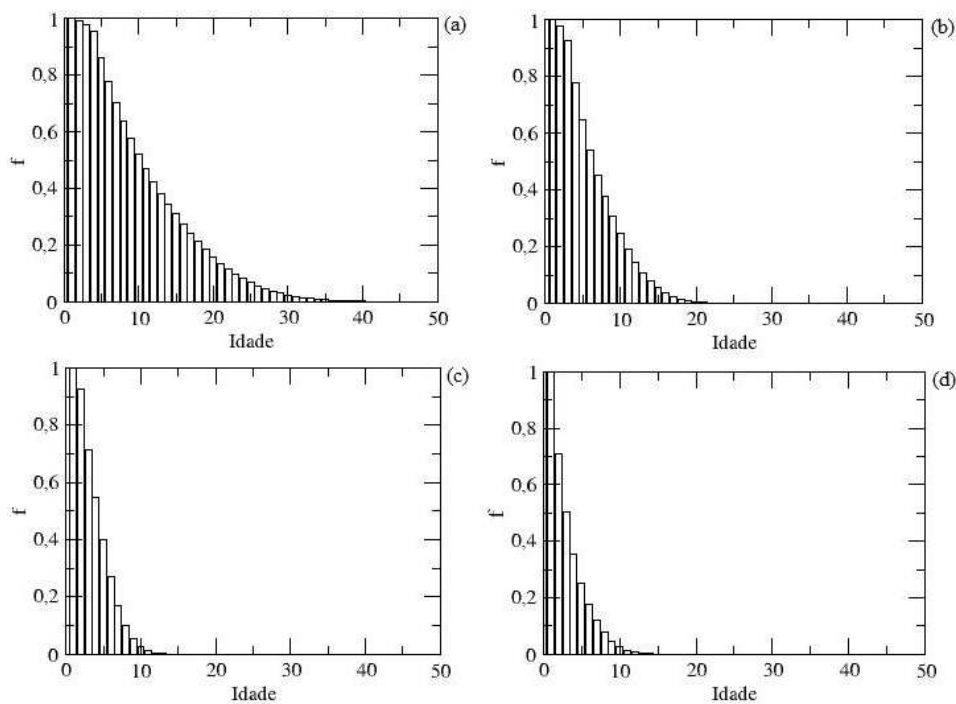


Figura 4 Histograma da proporção de indivíduos em cada idade relativo a idade 0 para *N. californicus* nas temperaturas de (a) 15°C (b) 20°C (c) 25°C e (d) 30°C.

Na Tabela 14 pode-se verificar os valores médios da taxa intrínseca de crescimento e longevidades da população de *N. californicus*, sem distinção entre fêmeas e machos, em diferentes temperaturas obtidas por meio da simulação e por Oliveira, Martins e Zacarias (2013). Observa-se que as longevidades obtidas pela

simulação foram mais baixas do que às obtidas por Oliveira, Martins e Zacarias (2013), em todas as temperaturas. Para os valores médios da taxa intrínseca de crescimento, verifica-se que nas quatro temperaturas, os valores obtidos pela simulação apresentaram uma menor diferença percentual em relação aos valores experimentais obtidos por Vasconcelos (2006) do que os obtidos por Oliveira, Martins e Zacarias (2013). (Tabela 15).

Tabela 14 Valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-) e longevidades da população de *N. californicus*, obtidos nas simulações e por Oliveira, Martins e Zacarias (2013) (fêmea/macho), em diferentes temperaturas.

Temperatura	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
r_m^- - simulação	0,1010	0,1780	0,2600	0,3440
Longevidade simulação	40	21	13	14
r_m^- Oliveira, Martins e Zacarias (2013)	0,1032	0,1488	0,2671	0,2835
Longevidade- Oliveira, Martins e Zacarias (2013)	51/48	39/38	27/24	25/24

Tabela 15 Diferenças percentuais (%), em relação aos valores experimentais obtidos por Vasconcelos (2006), dos valores médios da taxa intrínseca de crescimento (r_m^-) da população de *N. californicus* obtidos nas simulações e por Oliveira, Martins e Zacarias (2013), em diferentes temperaturas.

Temperatura	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
r_m^- - simulação	0,0	2,7	0,4	10,9
r_m^- - Oliveira, Martins e Zacarias (2013)	2,2	18,7	2,3	26,2

4.3 Simulação computacional da dinâmica de interação entre a presa *T. urticae* e predador *N. californicus* a diferentes temperaturas

Na Figura 5 apresenta-se o tempo de extinção de *T. urticae* em função da razão inicial predador/presa (μ), nas temperaturas de 20 °C, 25 °C e 30 °C. Observa-se que o tempo de extinção das presas tende a se estabilizar com o aumento de μ , como já verificado no modelo proposto por Oliveira, Martins e Zacarias (2013). Segundo este autor, altos valores para μ ocasionam uma maior competição entre os predadores, reduzindo o seu potencial para consumo de presas e para reprodução, limitando assim, o tempo necessário para extinguir a população de presas.

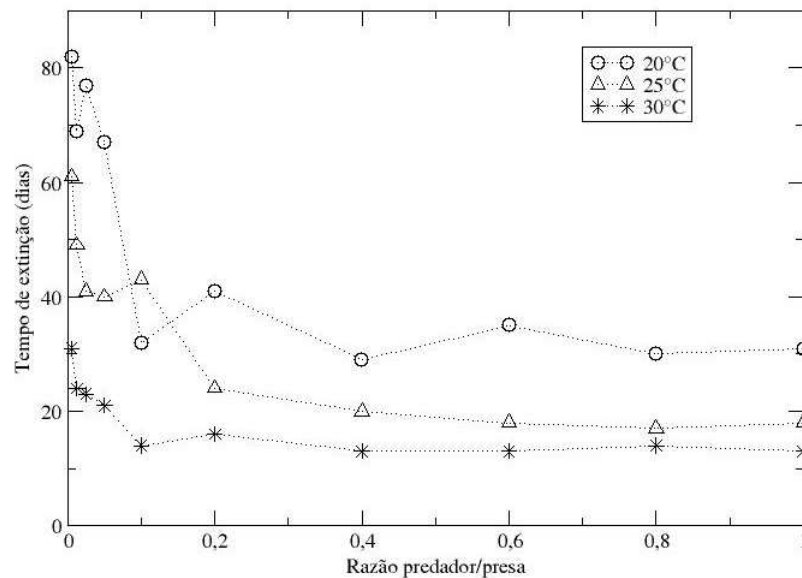


Figura 5 Tempo de extinção da presa *T. urticae* em função da razão inicial predador/presa (μ) nas temperaturas de (a) 20 °C, (b) 25 °C e (c) 30 °C.

Nota-se que em todas as simulações realizadas, a população de *T. urticae*

foi extinta, independente da temperatura e da razão inicial predador/presa. Segundo Pels e Sabelis (1999), isso ocorre pois os ácaros da família Phytoseiidae tendem a consumir todo o estoque de presas, levando a população a extinção. Observa-se também que *N. californicus* é mais eficiente em temperaturas mais altas. Para valores de μ superiores a 0,4, o tempo de extinção é inferior a 20 dias nas temperaturas de 25 °C e 30 °C, enquanto que na temperatura de 20 °C o tempo de extinção está em torno dos 30 dias. No trabalho desenvolvido por Oliveira, Martins e Zacarias (2013) o tempo de extinção na temperatura de 20 °C ficou em torno de 36 dias a partir de $\mu = 0.2$.

Foi simulado também, em cada temperatura, o consumo médio diário de presas por fêmeas adultas de *N. californicus* em função da razão inicial predador/presa (μ), nas temperaturas de 20 °C, 25 °C e 30 °C. Para todas as simulações feitas, o consumo diário diminuiu com o aumento de μ (Figura 6). Observou-se o mesmo comportamento para o número médio diário de filhos por fêmea em função da razão inicial predador/presa (μ) (Figura 7). Segundo Oliveira, Martins e Zacarias (2013), devido as densidades maiores de predadores a competição entre eles aumenta, o que acarreta na queda do consumo médio diário de presas, e na redução da reprodução das fêmeas.

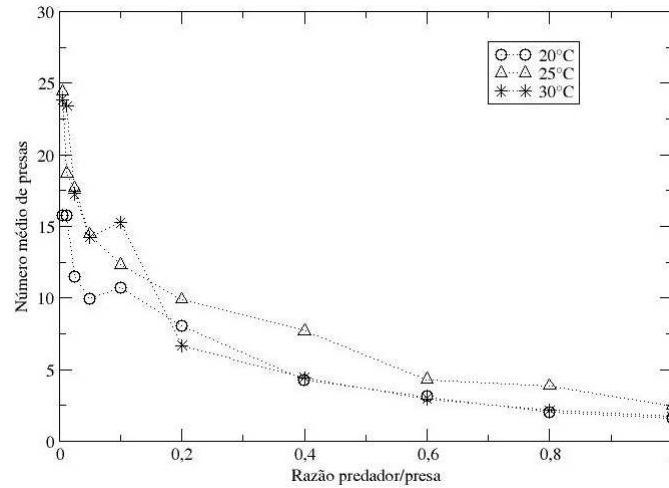


Figura 6 Consumo médio diário de presas por fêmeas adultas de *N. californicus* nas temperaturas de 20 °C, 25 °C e 30 °C.

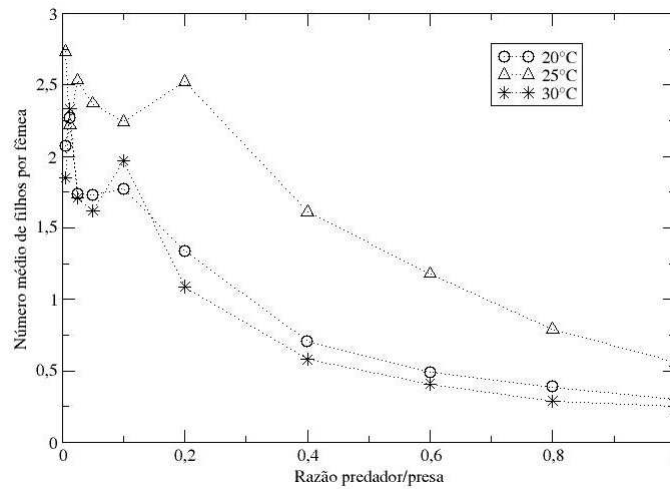


Figura 7 Número médio diário de filhos por fêmeas adultas de *N. californicus* nas temperaturas de 20 °C, 25 °C e 30 °C.

4.4 Análise das séries temporais

A seguir apresentam-se as análises das séries temporais das populações de *T. urticae* e *N. californicus* nas temperaturas de 15 °C, 20 °C, 25 °C e 30 °C.

4.4.1 Análise das séries da população de *T. urticae*

A seguir apresentam-se as análises das séries temporais das populações de *T. urticae* nas temperaturas de 15, 20, 25 e 30 °C, nas etapas temporais iniciais, antes da estabilização das populações. Para cada série temporal foram propostos modelos, escolhendo-se aqueles que apresentaram melhor AIC (Critério de Informação de Akaike). Os procedimentos necessários para tornar as séries estacionárias foram realizados e encontram-se no Apêndice A.

4.4.1.1 Análise à temperatura de 15 °C

Na Figura 8 observa-se o comportamento da população da presa *T. urticae* na temperatura de 15 °C. Inicialmente, por meio de uma análise visual do gráfico da série original nota-se uma sazonalidade, pode-se observar também um aumento da população, com indícios de haver tendência positiva.

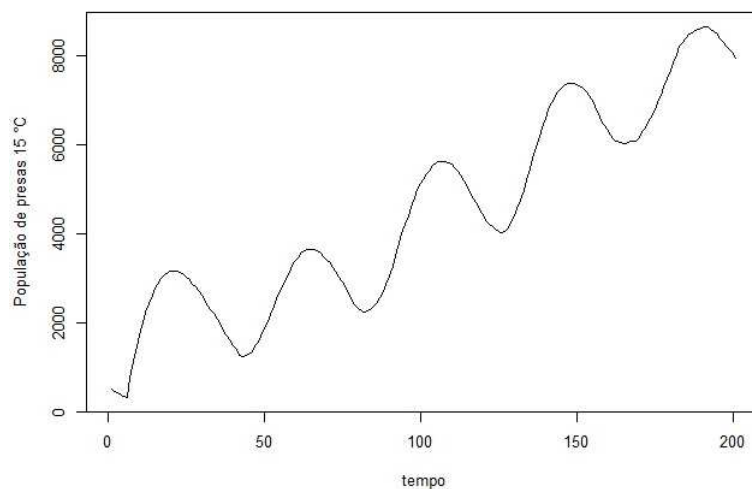


Figura 8 Evolução temporal da população de *T. urticae* na temperatura de 15 °C.

Na Figura 9 é possível observar que o periodograma apresenta um pico,

aproximadamente em 40 dias. Este efeito sazonal pode ser verificado através do teste de Fisher; as estatísticas $g = 0.6948$ e $z_{0,05} = 0.0739$ mostram que $g > z$, portanto a série apresenta sazonalidade. O teste do sinal de (Cox-Stuart) foi aplicado para confirmar a existência da tendência. Considerando que no período transiente a série possui 200 observações, tem-se que: $c=100$ e $n= 100$. O número de sinais positivos T é igual a 100 e o valor de t é dado por: $t = 1/2(100 + 1,96\sqrt{100}) = 59,8$. Portanto, como $T = 100 \geq n - t = 40,2$, pode-se afirmar que a série apresenta tendência.

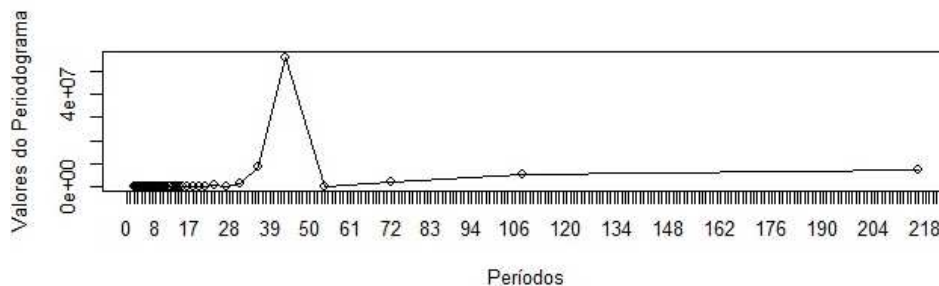


Figura 9 Periodograma da série da população de *T. urticae* na temperatura de 15 °C.

As possíveis ordens do modelo a ser ajustado são sugeridas pela *fac* e a *facp* da série estacionária, representadas na Figura 10.

O modelo que se ajustou aos dados foi

$$\text{SARIMA}(1, 1, 0)(0, 1, 1)_{40}$$

$$Z_t = \frac{1}{(1 - \phi_1 B)(1 - B)(1 - B^{40})} a_t. \quad (4.1)$$

A estimativa do parâmetro do modelo sugerido apresenta-se na Tabela 16.

Na Figura 11 apresenta-se a *fac* dos resíduos do modelo estimado, indicando que eles constituem ruído branco. Pelo teste de Box-Pierce ao nível de 5%,

Tabela 16 Estimativa do parâmetro do modelo (4.1) e seu erro padrão para a série da população de *T. urticae* a 15 °C.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
$SARIMA(1, 1, 0)(0, 1, 0)_{40}$	ϕ_1	0,7423	0,0525

temos que o valor $p = 0,8949$ para o modelo sugerido, o que confirma que os resíduos do modelos são ruído branco.

Substituído o valor da estimativa de ϕ_1 presente na Tabela 16 temos:

$$Z_t = \frac{1}{(1 - 0,7423B)(1 - B)(1 - B^{40})} a_t. \quad (4.2)$$

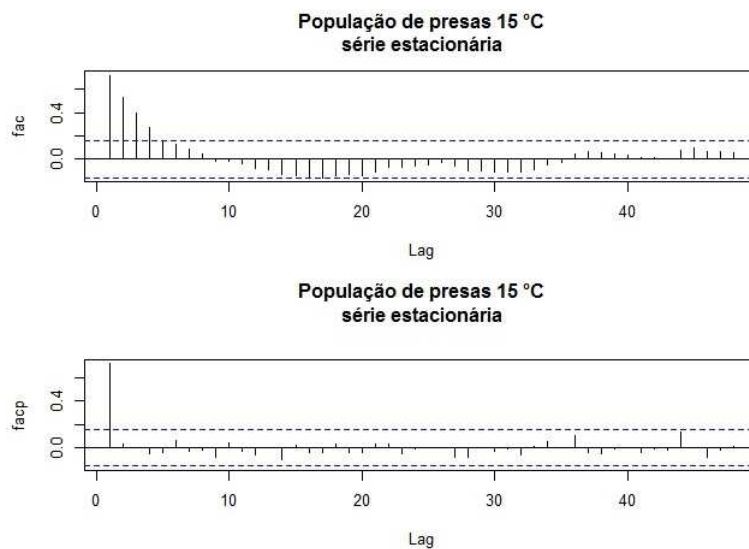


Figura 10 Correlograma da série estacionária da população de *T. urticae* na temperatura de 15 °C.

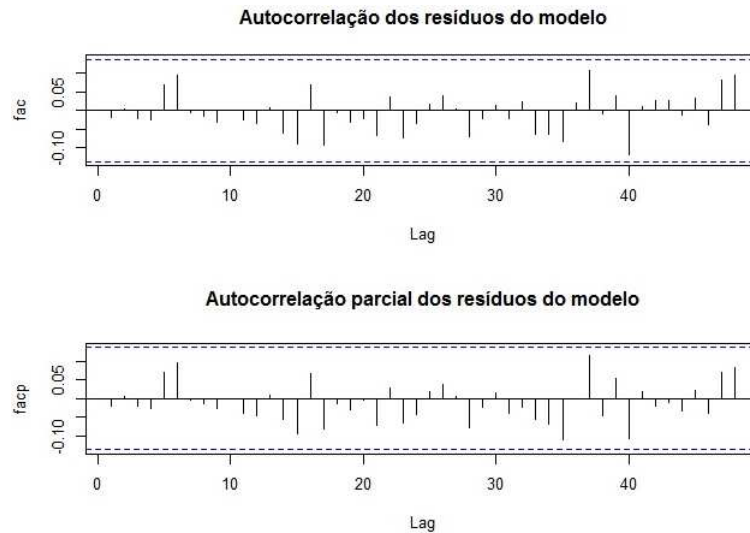


Figura 11 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.

4.4.1.2 Análise à temperatura de 20 °C

Na Figura 12 observa-se o comportamento da população da presa *T. urticae* na temperatura de 20 °C . Através de uma análise visual no gráfico nota-se uma sazonalidade e também tendência positiva na série.

Na Figura 13 é possível observar que o periodograma apresenta um pico no período de 21 dias e também em aproximadamente 38 dias. Por meio do teste de Fisher; as estatísticas $z = 0,0941$, $g_1 = 0.1406$ e $g_2 = 0,025$ (g_1 e g_2 referentes aos picos em 21 e 38 dias, respectivamente) mostram que $g_1 > z$ e $g_2 < z$, portanto a série apresenta sazonalidade em 21 dias, mas em 38 esta sazonalidade não foi significativa, pelo teste de Fisher. O teste do sinal de (Cox-Stuart) foi aplicado para confirmar a existência da tendência. Considerando que em seu período transiente a série possui 150 observações, tem-se que: $c=75$ e $n= 75$. O número de sinais positivos T é igual a 75 e o valor de t é dado por:

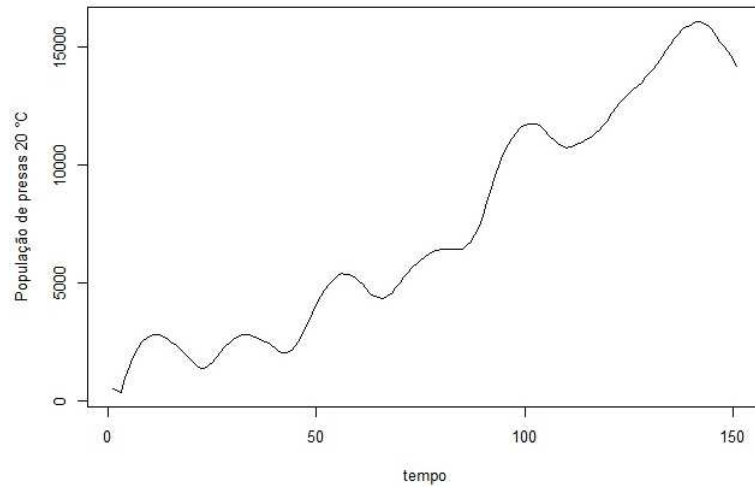


Figura 12 Evolução temporal da população de *T. urticae* na temperatura de 20 °C.

$t = 1/2(75 + 1,96\sqrt{75}) = 29,02$. Portanto, como $T = 75 \geq n - t = 29,02$, pode-se afirmar que a série apresenta tendência.

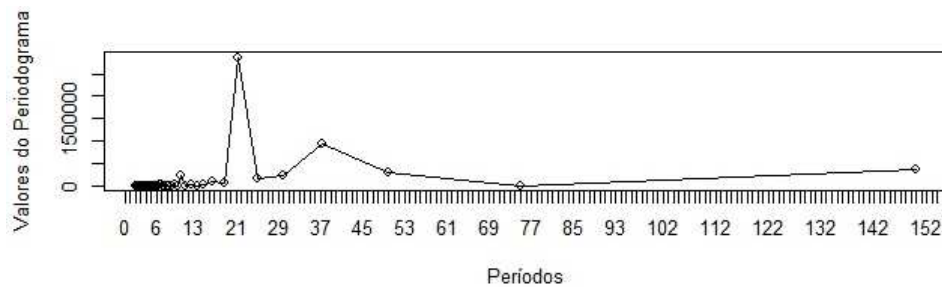


Figura 13 Periodograma da série da população de *T. urticae* na temperatura de 20 °C.

O modelo que se ajustou aos dados foi

SARIMA(1, 1, 0)(0, 1, 1)₂₁

$$Z_t = \frac{1 - \Theta_1 B^{21}}{(1 - \phi_1 B)(1 - B)(1 - B^{21})} a_t. \quad (4.3)$$

As estimativas dos parâmetros do modelo sugerido apresenta-se na Tabela 17.

Tabela 17 Estimativas dos parâmetros do modelo (4.3) e seu erro padrão para a série da população de *T. urticae* a 20 °C.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
$SARIMA(1, 1, 0)(0, 1, 1)_{21}$	ϕ_1	0,9294	0,0357
	Θ_1	-0,4123	0,0994

Na Figura 14 apresenta-se a fac dos resíduos do modelo estimado, indicando que eles constituem ruído branco. Pelo teste de Box-Pierce ao nível de 5%, temos que o valor $p = 0,5075$ para o modelo sugerido, o que confirma que os resíduos do modelos são ruído branco.

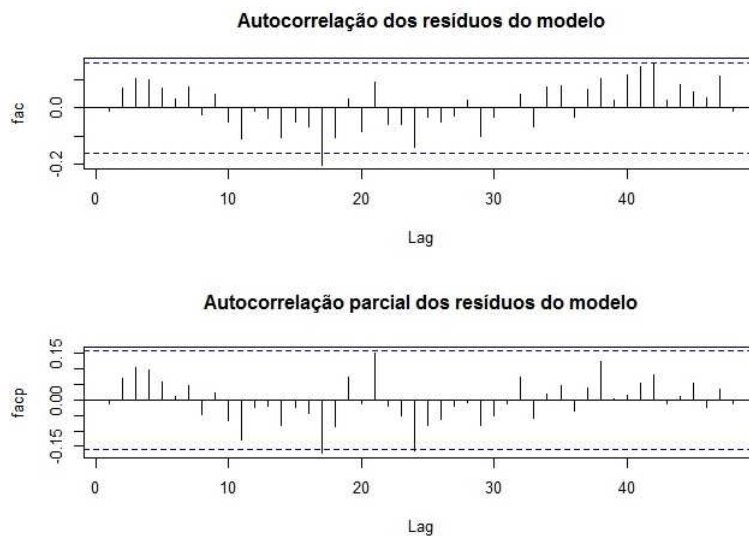


Figura 14 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.

Substituindo o valor das estimativas dos parâmetros presentes na Tabela 17 temos:

$$Z_t = \frac{1 + 0,4123B^{21}}{(1 - 0,9294B)(1 - B)(1 - B^{21})} a_t. \quad (4.4)$$

4.4.1.3 Análise à temperatura de 25 °C

Na Figura 15 observa-se o comportamento da população da presa *T. urticae* na temperatura de 25 °C . Através de uma análise visual no gráfico nota-se uma sazonalidade e também tendência positiva na série.

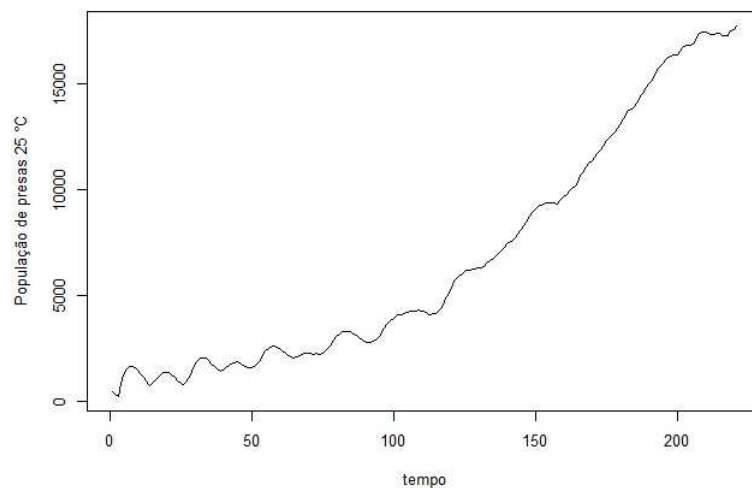


Figura 15 Evolução temporal da população de *T. urticae* na temperatura de 25 °C.

Na Figura 16 é possível observar que o periodograma apresenta um pico no período de 13 dias e também em aproximadamente 23 dias. Por meio do teste de Fisher; as estatísticas $z = 0,06817$, $g_1 = 0,4557$ e $g_2 = 0,1183$ (g_1 e g_2 referentes aos picos em 13 e 23 dias, respectivamente) mostram que $g_1 > z$ e $g_2 > z$, portanto, os dois picos são significativos. O teste do sinal de (Cox-Stuart) foi aplicado para confirmar a existência da tendência. Considerando que a série possui 220 observações em seu período transiente, tem-se que: $c=110$ e $n= 110$.

O número de sinais positivos T é igual a 110 e o valor de t é dado por: $t = 1/2(110 + 1,96\sqrt{110}) = 65,28$. Portanto, como $T = 110 \geq n - t = 65,28$, pode-se afirmar que a série apresenta tendência.

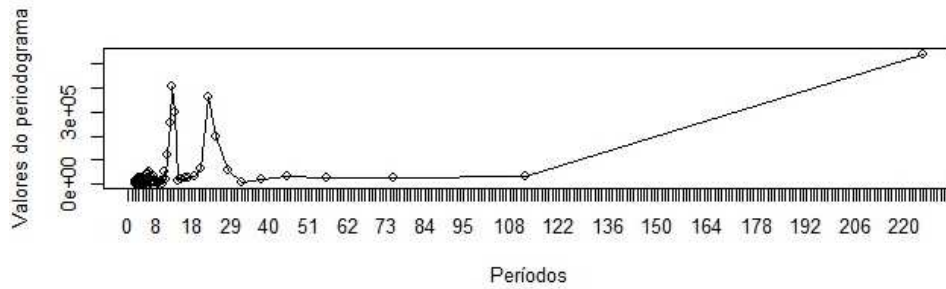


Figura 16 Periodograma da série da população de *T. urticae* na temperatura de 25 °C.

As possíveis ordens do modelo a ser ajustado são sugeridas pela *fac* e a *facp* da série estacionária, representadas na Figura 17.

O modelo que se ajustou aos dados foi:

$$Z_t = \frac{1 - \Theta_1 B^{13}}{(1 - \phi_1 B)(1 - B)(1 - B^{13})(1 - B^{23})} a_t. \quad (4.5)$$

A estimativa do parâmetro do modelo sugerido apresenta-se na Tabela 18.

Tabela 18 Estimativa do parâmetro do modelo (4.5) e seu erro padrão para a série da população de *T. urticae* a 25 °C.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
4.5	ϕ_1	0,5501	0,0648
	Θ_1	-0,6594	0,0824

Na Figura 18 apresenta-se a *fac* dos resíduos do modelo estimado, indicando que eles constituem ruído branco. Pelo teste de Box-Pierce, temos o valor $p = 0,1177$ para o modelo sugerido, o que confirma que os resíduos do modelos

são ruído branco.

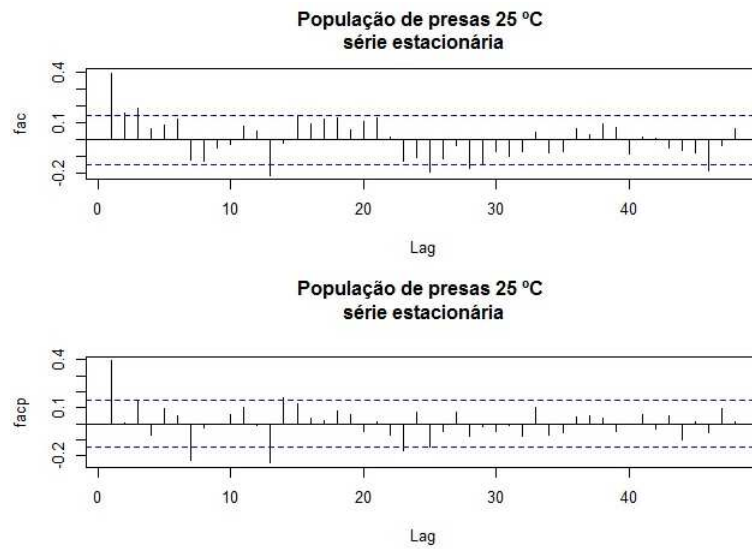


Figura 17 Correlograma da série estacionária da população de *T. urticae* na temperatura de 25 °C.

Substituído o valor da estimativa de ϕ_1 e Θ_1 presente na Tabela 18 temos:

$$Z_t = \frac{1 + 0,6594B^{21}}{(1 - 0,5501B)(1 - B)(1 - B^{13})(1 - B^{23})} a_t. \quad (4.6)$$

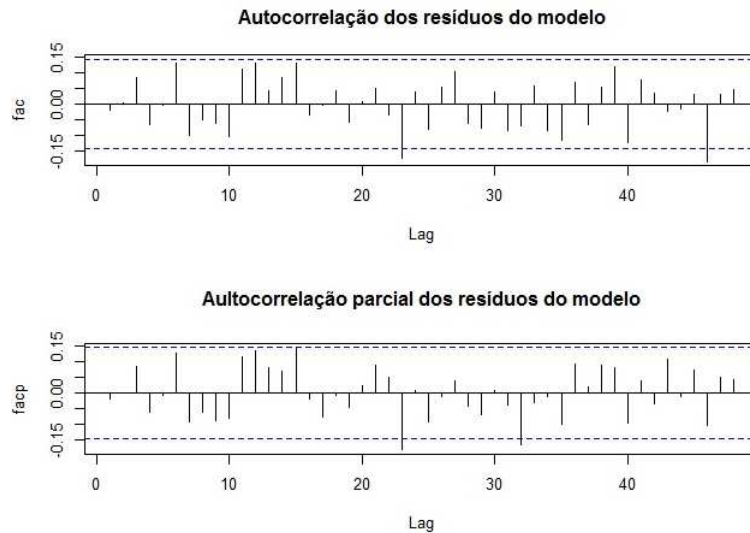


Figura 18 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.

4.4.1.4 Análise à temperatura de 30 °C

Na Figura 19 observa-se o comportamento da população da presa *T. urticae* na temperatura de 30 °C . Por meio de uma análise visual no gráfico nota-se uma sazonalidade e também tendência positiva na série.

Na Figura 20 é possível observar que o periodograma apresenta dois picos, um em 11 dias e outro em 18 dias. Através do teste de Fisher; as estatísticas $z = 0,089$, $g_1 = 0,2228$ e $g_2 = 0,1084$ (g_1 e g_2 referentes aos picos em 11 e 18 dias, respectivamente) mostram que $g_1 > z$ e $g_2 > z$, portanto, os dois picos são significativos. O teste do sinal de (Cox-Stuart) foi aplicado para confirmar a existência da tendência. Considerando que a série possui 160 observações, tem-se que: $c=80$ e $n=80$. O número de sinais positivos T é igual a 80 e o valor de t é dado por: $t = 1/2(80 + 1,96\sqrt{80}) = 48,76$. Portanto, como $T = 80 \geq n - t = 31,24$, pode-se afirmar que a série apresenta tendência.

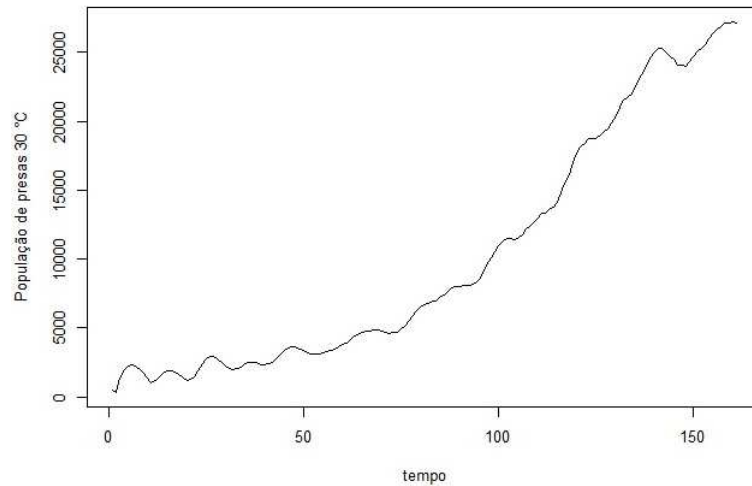


Figura 19 Evolução temporal da população de *T. urticae* na temperatura de 30 °C.

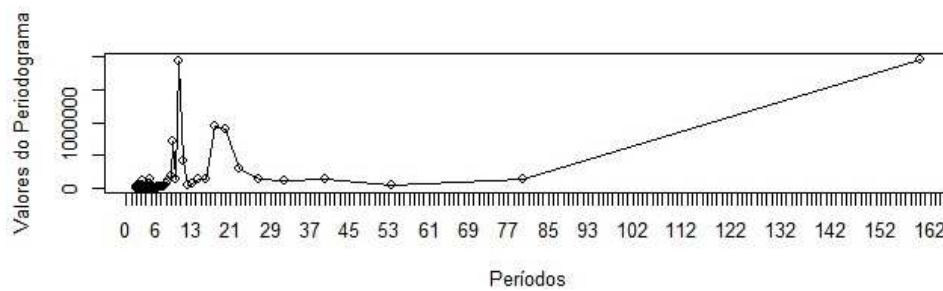


Figura 20 Periodograma da série da população de *T. urticae* na temperatura de 30 °C.

As possíveis ordens do modelo a ser ajustado são sugeridas pela *fac* e a *facp* da série estacionária, representadas na Figura 21.

O modelo que se ajustou aos dados foi:

$$Z_t = \frac{1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2}{(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \phi_3 B^3)(1 - B)(1 - B^{11})(1 - B^{18})} a_t. \quad (4.7)$$

As estimativas dos parâmetros do modelo sugerido apresentam-se na Tabela 19.

Tabela 19 Estimativa do parâmetro do modelo (4.7) e seu erro padrão para a série da população de *T. urticae* a 30 °C.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
4.7	ϕ_1	-0,3219	0,0919
	ϕ_2	-0,5562	0,0691
	ϕ_3	0,4837	0,0857
	θ_1	0,9595	0,0735
	θ_2	0,9032	0,0689

Na Figura 22 apresenta-se a *fac* dos resíduos do modelo estimado, indicando que eles constituem ruído branco. Pelo teste de Box-Pierce, temos o valor $p = 0,2938$ para o modelo sugerido, o que confirma que os resíduos do modelos são ruído branco.

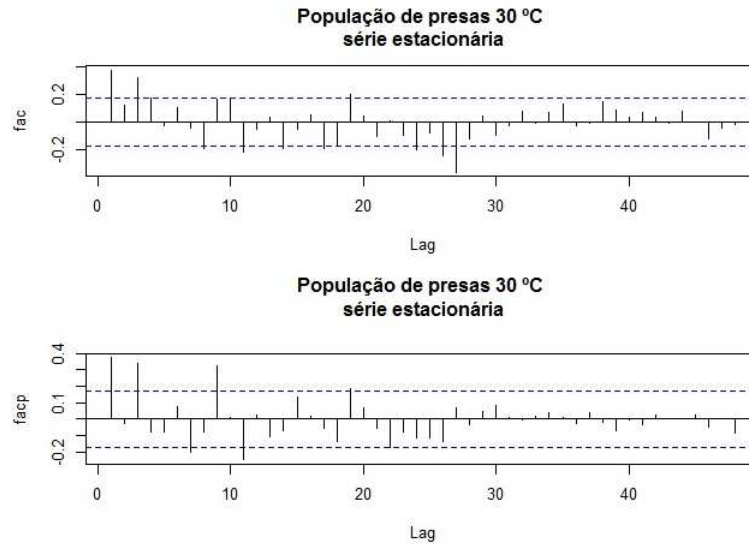


Figura 21 Correlograma da série estacionária da população de *T. urticae* na temperatura de 30 °C.

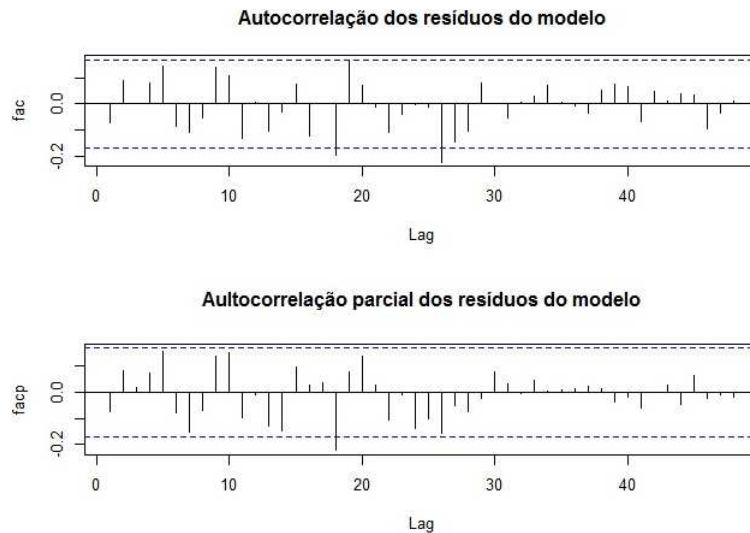


Figura 22 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.

Substituído o valor da estimativa dos parâmetros dos modelos, presente na Tabela 19 temos:

$$Z_t = \frac{1 - 0,9595B - 0,9032B^2}{(1 + 0,3219B + 0,5562B^2 - 0,4837B^3)(1 - B)(1 - B^{11})(1 - B^{18})} a_t. \quad (4.8)$$

4.4.2 Análise das séries da população de *N. californicus*

A seguir apresentam-se as análises das séries temporais das populações de *N. californicus* nas temperaturas de 15 °C, 20 °C, 25 °C e 30 °C, nas etapas temporais iniciais, antes da estabilização das populações. Para cada série temporal foram propostos modelos, escolhendo-se aqueles que apresentaram melhor AIC. Os procedimentos necessários para tornar as séries estacionárias foram realizados e encontram-se no Apêndice B.

4.4.2.1 Análise à temperatura de 15 °C

Na Figura 23 observa-se o comportamento da população de predador *N. californicus* na temperatura de 15 °C . Inicialmente, por meio de uma análise visual do gráfico da série original nota-se uma sazonalidade, pode-se observar também um aumento da população, com indícios de haver tendência positiva.

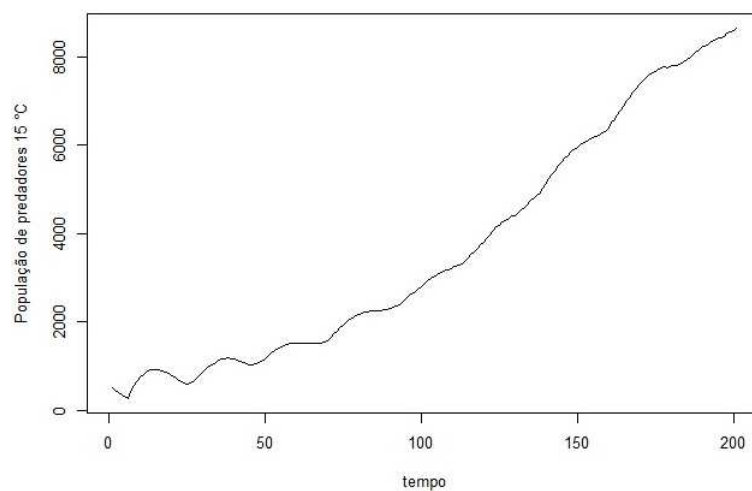


Figura 23 Evolução temporal da população de *N. californicus* na temperatura de 15 °C.

Na Figura 24 é possível observar que o periodograma apresenta um pico significativo no período 22 dias. Este efeito sazonal pode ser verificado pelo teste de Fisher; as estatísticas $g = 0.4565$ e $z_{0,05} = 0.0739$ mostram que $g > z$, portanto a série apresenta sazonalidade. O teste do sinal de (Cox-Stuart) foi aplicado para confirmar a existência da tendência. Considerando que em seu período transiente a série possui 200 observações, tem-se que: $c=100$ e $n=100$. O número de sinais positivos T é igual a 100 e o valor de t é dado por: $t = 1/2(100 + 1,96\sqrt{100}) = 59,8$. Portanto, como $T = 100 \geq n - t = 40,2$, pode-se afirmar que a série apresenta tendência.

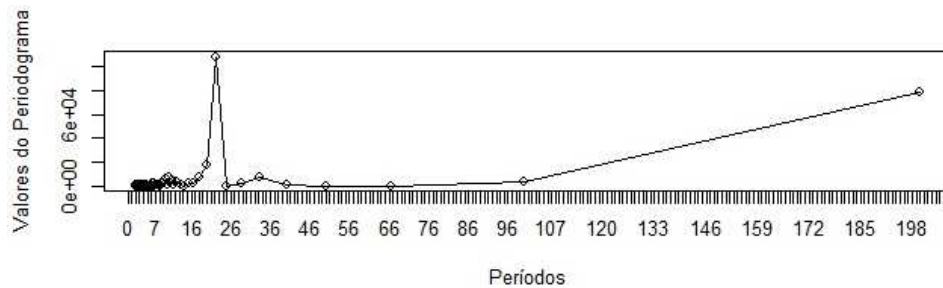


Figura 24 Periodograma da série da população de *N. californicus* na temperatura de 15 °C.

As possíveis ordens do modelo a ser ajustado são sugeridas pela *fac* e a *facp* da série estacionária, representadas na Figura 25.

O modelo que se ajustou aos dados foi

$$\text{SARIMA}(1, 1, 1)(0, 1, 1)_{22}$$

$$Z_t = \frac{(1 - \theta_1 B)(1 - \Theta_1 B^{22})}{(1 - \phi_1 B)(1 - B)(1 - B^{22})} a_t. \quad (4.9)$$

A estimativa do parâmetro do modelo sugerido apresenta-se na Tabela 20.

Tabela 20 Estimativa do parâmetro do modelo (4.9) e seu erro padrão para a série da população de *N. californicus* a 15 °C.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
<i>SARIMA</i> (1, 1, 1)(0, 1, 1) ₂₂	ϕ_1	0,8386	0,0641
	θ_1	-0,3530	0,1062
	Θ_1	-0,5191	0,0984

Na Figura 26 apresenta-se a *fac* dos resíduos do modelo estimado, indicando que eles constituem ruído branco. Pelo teste de Box-Pierce a 5% de significância, temos que o valor $p = 0,8491$ para o modelo sugerido, o que confirma que os resíduos do modelos são ruído branco.

Substituído o valor da estimativa dos parâmetros presentes na Tabela 20

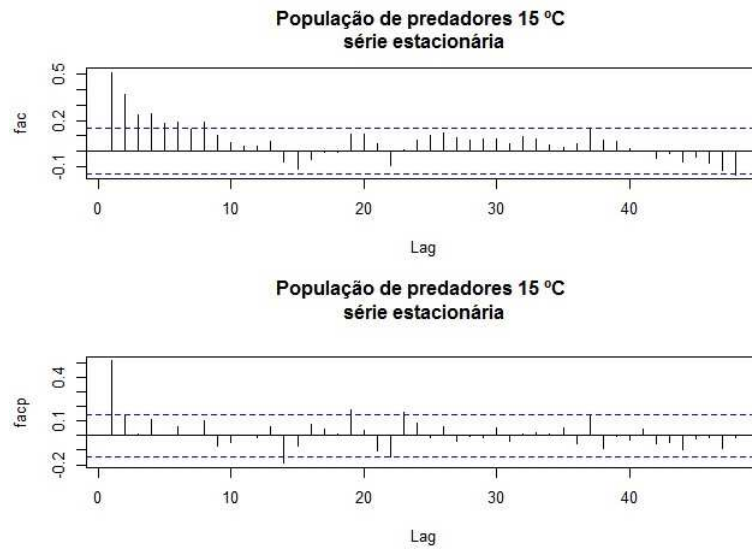


Figura 25 Correlograma da série estacionária da população de *N. californicus* na temperatura de 15 °C.

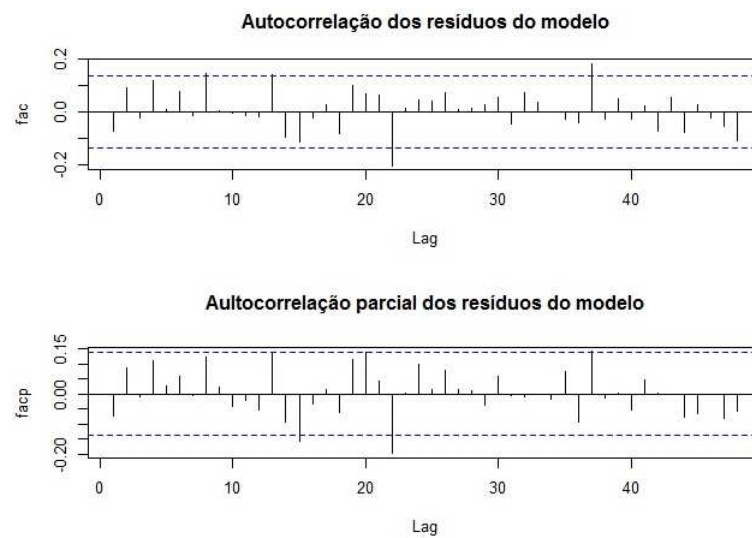


Figura 26 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.

temos:

$$Z_t = \frac{(1 + 0,3530B)(1 + 0,5191B^{22})}{(1 - 0,8386B)(1 - B)(1 - B^{22})} a_t. \quad (4.10)$$

4.4.2.2 Análise à temperatura de 20 °C

Na Figura 27 observa-se o comportamento da população do predador *N. californicus* na temperatura de 20 °C . Através de uma análise visual no gráfico nota-se uma sazonalidade e também tendência positiva na série.

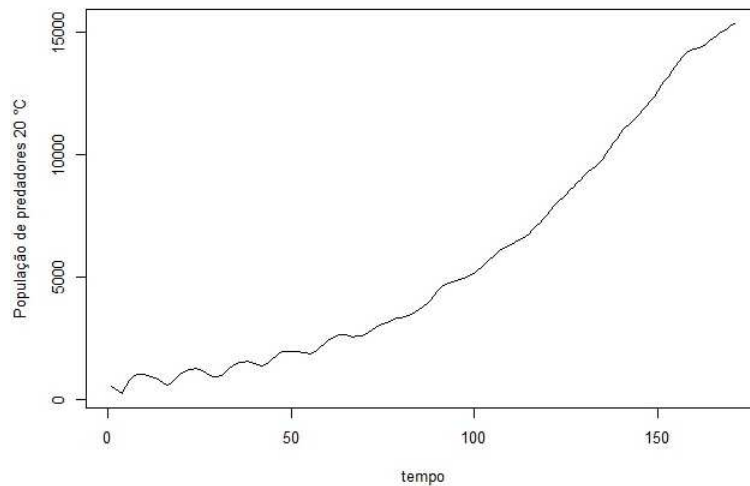


Figura 27 Evolução temporal da população de *N. californicus* na temperatura de 20 °C.

Na Figura 28 é possível observar que o periodograma apresenta um pico no período de 13 dias, aproximadamente. Este efeito sazonal pode ser verificado por meio do teste de Fisher; as estatísticas $g = 0,2225$ e $z_{0,05} = 0,084$ mostram que $g > z$, portanto, a série apresenta sazonalidade. Pelo teste do sinal (Cox-Stuart), tem-se que: $c=85$ e $n= 85$. O número de sinais positivos T é igual a 85 e o valor de t é dado por: $t = 1/2(85 + 1,96\sqrt{85}) = 51,54$. Portanto, como

$T = 85 \geq n - t = 33, 46$, pode-se afirmar que a série apresenta tendência.

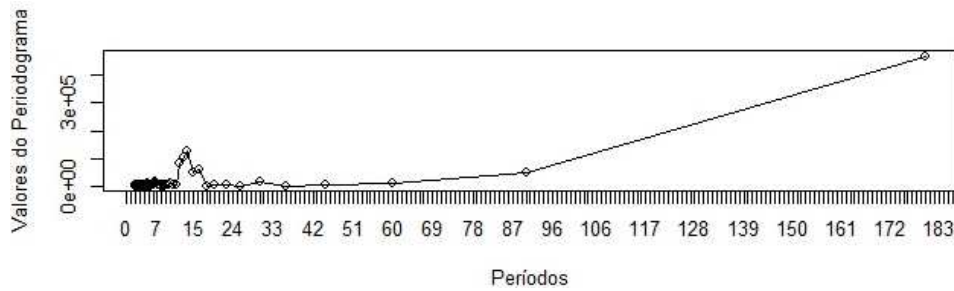


Figura 28 Periodograma da série da população de *N. californicus* na temperatura de 20 °C.

As possíveis ordens do modelo a ser ajustado são sugeridas pela *fac* e a *facp* da série estacionária, representadas na Figura 29.

O modelo que se ajustou aos dados foi

$$\text{SARIMA}(1, 1, 1)(0, 1, 1)_{13}$$

$$Z_t = \frac{(1 - \theta_1 B)(1 - \Theta_1 B^{13})}{(1 - \phi_1 B)(1 - B)(1 - B^{13})} a_t. \quad (4.11)$$

A estimativa do parâmetro do modelo sugerido apresenta-se na Tabela 21.

Tabela 21 Estimativa do parâmetro do modelo (4.11) e seu erro padrão para a série da população de *N. californicus* a 20 °C.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
<i>SARIMA</i> (1, 1, 0)(0, 1, 1) ₂₁	ϕ_1	0,8018	0,0696
	θ_1	-0,3218	0,1054
	Θ_1	-0,4791	0,0884

Na Figura 30 apresenta-se a *fac* dos resíduos do modelo estimado, indicando que eles constituem ruído branco. Pelo teste de Box-Pierce, temos que o valor $p = 0,6853$ para o modelo sugerido, o que confirma que os resíduos do modelos são ruído branco.

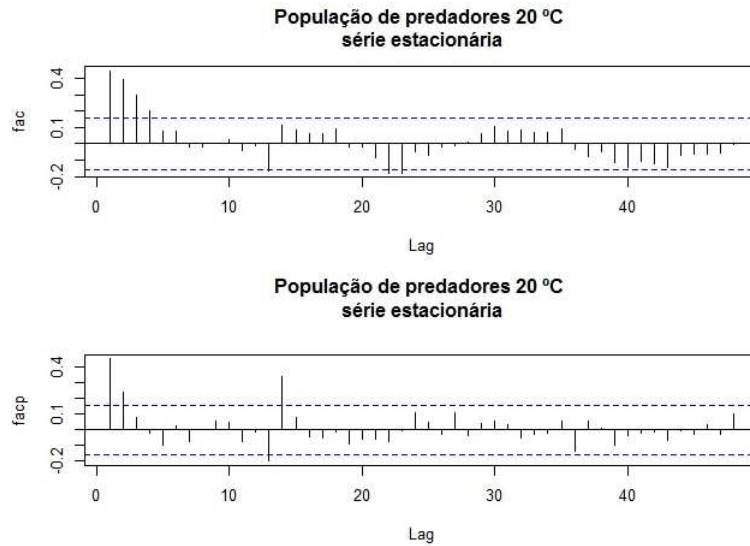


Figura 29 Correlograma da série estacionária da população de *N. californicus* na temperatura de 20 °C.

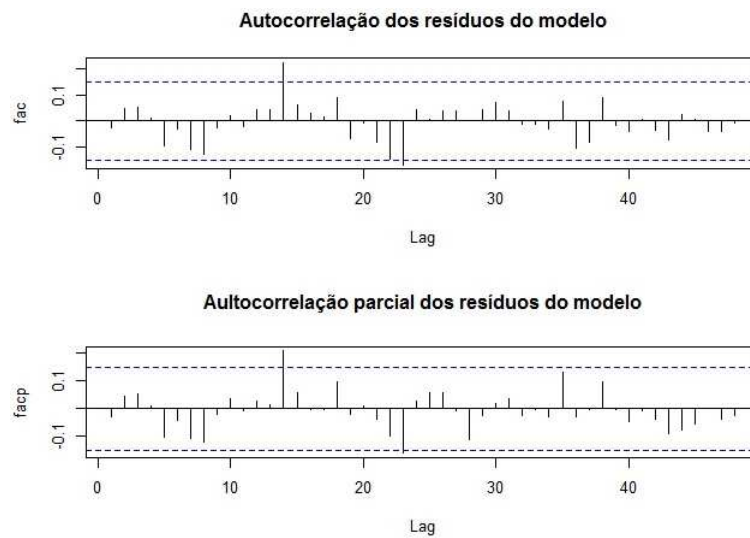


Figura 30 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.

Substituindo o valor das estimativas dos parâmetros presentes na Tabela

21 temos:

$$Z_t = \frac{(1 + 0,3218B)(1 + 0,4791B^{13})}{(1 - 0,8018B)(1 - B)(1 - B^{13})} a_t. \quad (4.12)$$

4.4.2.3 Análise à temperatura de 25 °C

Na Figura 31 observa-se o comportamento da população da presa *N. californicus* na temperatura de 25 °C . Nota-se por meio de uma análise visual no gráfico sazonalidade e tendência na série.

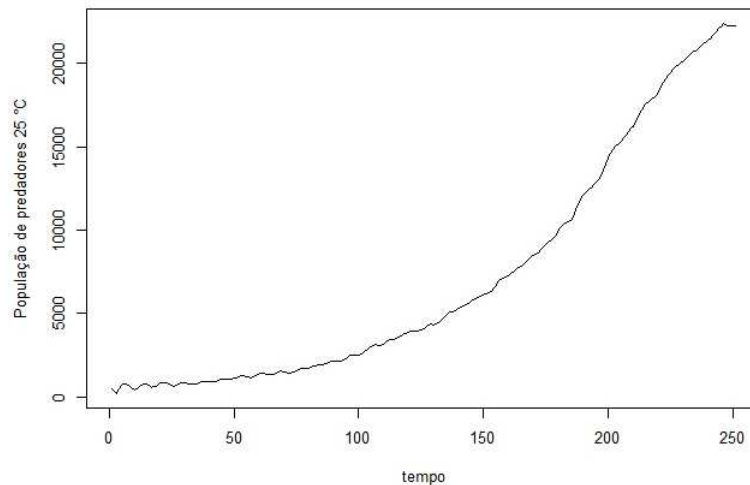


Figura 31 Evolução temporal da população de *N. californicus* na temperatura de 25 °C.

Na Figura 32 é possível observar que o periodograma apresenta dois picos, um no período de 8 dias e outro em aproximadamente 11 dias. Por meio do teste de Fisher; as estatísticas $z_{0,05} = 0,061$, $g_1 = 0,0095$ e $g_2 = 0,0772$ (g_1 e g_2 referentes aos picos em 8 e 11 dias, respectivamente) mostram que $g_1 < z$ e $g_2 > z$, portanto, somente a sazonalidade de 11 dias é significativa. O teste do sinal de (Cox-Stuart) foi aplicado para confirmar a existência da tendência. Considerando

que em seu período transiente a série possui 250 observações, tem-se que: $c=125$ e $n=125$. O número de sinais positivos T é igual a 125 e o valor de t é dado por: $t = 1/2(125 + 1,96\sqrt{125}) = 73,46$. Portanto, como $T = 125 \geq n - t = 51,54$, pode-se afirmar que a série apresenta tendência.

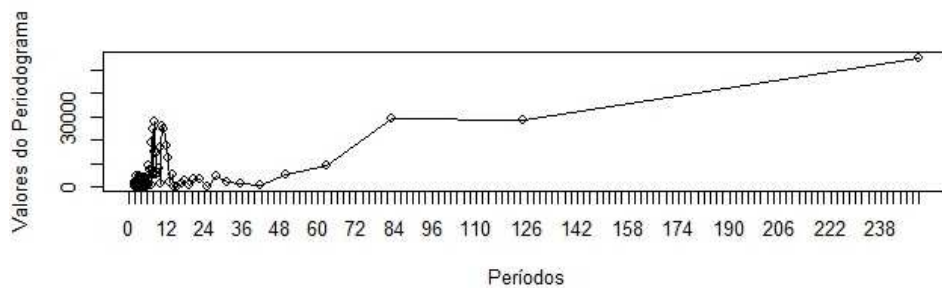


Figura 32 Periodograma da série da população de *N. californicus* na temperatura de 25 °C.

As possíveis ordens do modelo a ser ajustado são sugeridas pela *fac* e a *facp* da série estacionária, representadas na Figura 33.

O modelo que se ajustou aos dados foi:

$$SARIMA(3, 1, 3)(0, 1, 1)_{11}$$

$$Z_t = \frac{(1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \theta_3 B^3)(1 - \Theta_1 B^{11})}{(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \phi_3 B^3)(1 - B)(1 - B^{11})} a_t. \quad (4.13)$$

As estimativas dos parâmetros do modelo sugerido apresentam-se na Tabela 22.

Na Figura 34 apresenta-se a *fac* dos resíduos do modelo 4.13, indicando que eles constituem ruído branco. Pelo teste de Box-Pierce, temos que o valor $p = 0,2416$ para o modelo sugerido, o que confirma que os resíduos do modelos são ruído branco.

Tabela 22 Estimativa do parâmetro do modelo (4.13) e seu erro padrão para a série da população de *N. californicus* a 25 °C.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
<i>SARIMA</i> (3, 1, 3)(0, 1, 1) ₁₁	ϕ_1	2,3153	0,0462
	ϕ_2	-2,2455	0,0776
	ϕ_3	0,9239	0,0388
	θ_1	-1,8384	0,0787
	θ_2	1,5069	0,1106
	θ_3	-0,5653	0,0591
	Θ_1	-0,8354	0,0506

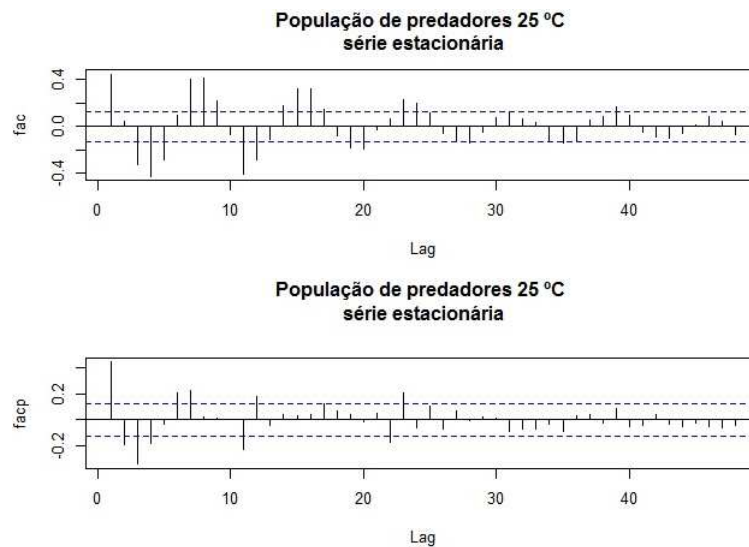


Figura 33 Correlograma da série estacionária da população de *N. californicus* na temperatura de 25 °C.

Substituindo o valor da estimativa dos parâmetros presente na Tabela 22 temos:

$$Z_t = \frac{(1 + 1,8384B - 1,5069B^2 + 0,5653B^3)(1 + 0,8354B^{11})}{(1 - 2,3153B + 2,2455B^2 - 0,9239B^3)(1 - B)(1 - B^{11})} a_t. \quad (4.14)$$

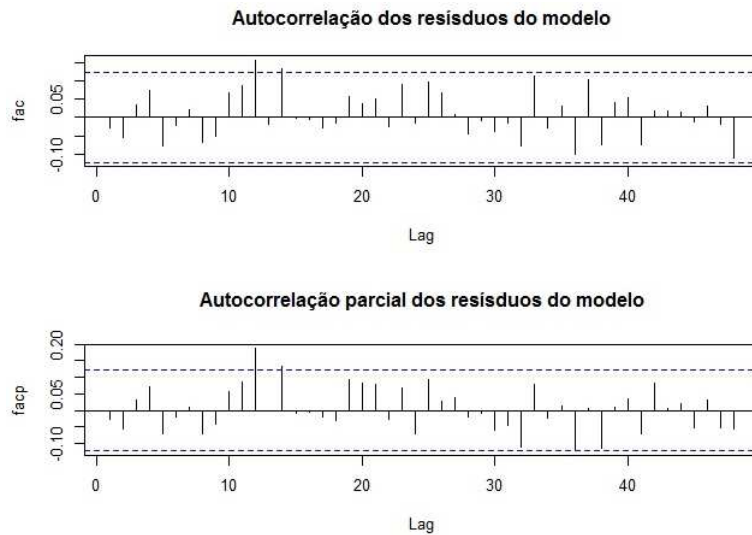


Figura 34 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.

4.4.2.4 Análise à temperatura de 30 °C

Na Figura 35 observa-se o comportamento da população do predador *N. californicus* na temperatura de 30 °C . Por meio de uma análise visual no gráfico nota-se uma tendência na série.

Nota-se por meio da Figura 36 um pequeno pico no período de 7 dias. Pelo teste de Fisher; as estatísticas $z_{0,05} = 0,1315$, $g = 0,5048$ mostram que $g > z$, portanto a série apresenta sazonalidade significativa. Para confirmar a existência da tendência foi aplicado o teste do sinal de (Cox-Stuart). Tem-se que: $N=50$, $c=25$ e $n= 25$. O número de sinais positivos T é igual a 25 e o valor de t é dado por: $t = 1/2(25 + 1,96\sqrt{25}) = 17,4$. Portanto, como $T = 25 \geq n - t = 7,6$, pode-se afirmar que a série apresenta tendência.

As possíveis ordens do modelo a ser ajustado são sugeridas pela fac e a facp da série estacionária, representadas na Figura 37.

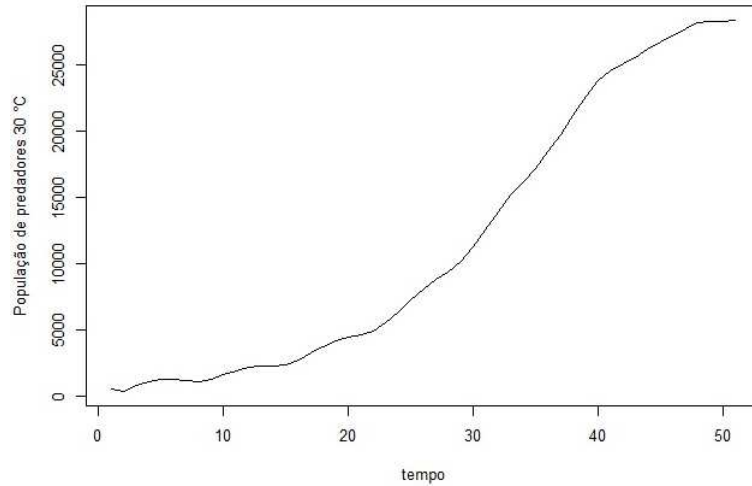


Figura 35 Evolução temporal da população de *N. californicus* na temperatura de 30 °C.

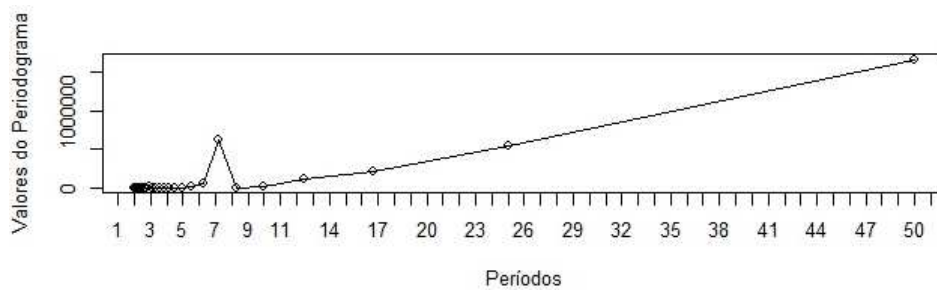


Figura 36 Periodograma da série da população de *N. californicus* na temperatura de 30 °C.

O modelo que se ajustou aos dados foi:

$$SARIMA(1, 1, 0)(0, 1, 0)_7$$

$$Z_t = \frac{1}{(1 - \phi_1 B)(1 - B)(1 - B^7)} a_t. \quad (4.15)$$

A estimativa do parâmetro do modelo sugerido apresenta-se na Tabela 23.

Na Figura 38 apresenta-se a fac dos resíduos do modelo estimado, indi-

Tabela 23 Estimativa do parâmetro do modelo (4.15) e seu erro padrão para a série da população de *N. californicus* a 30 °C.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão
$SARIMA(1, 1, 0)(0, 1, 0)_7$	ϕ_1	0,9329	0.0494

cando ruído branco. Pelo teste de Box-Pierce ao nível de 5%, temos que o valor $p = 0,999$ para o modelo sugerido, o que confirma que os resíduos do modelo são ruído branco.

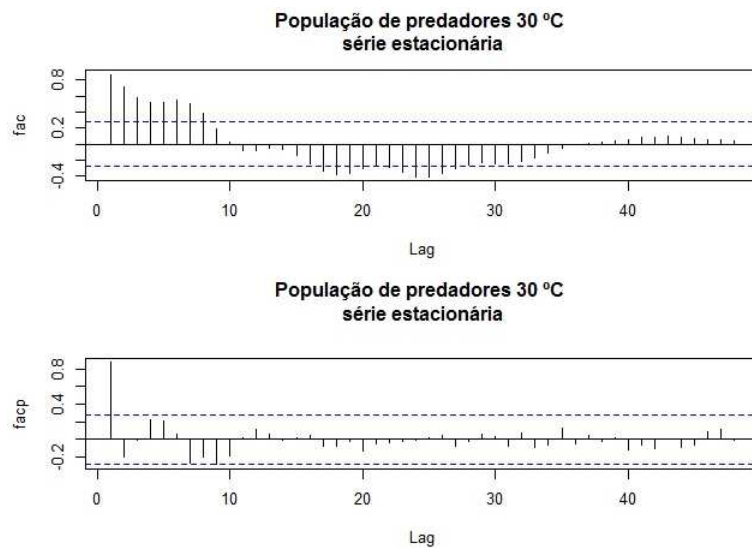


Figura 37 Correlograma da série estacionária da população de *N. californicus* na temperatura de 30 °C.

Substituindo o valor das estimativas dos parâmetros do modelo, presente na Tabela 23 temos:

$$Z_t = \frac{1}{(1 - 0,9329B)(1 - B)(1 - B^7)} a_t. \quad (4.16)$$

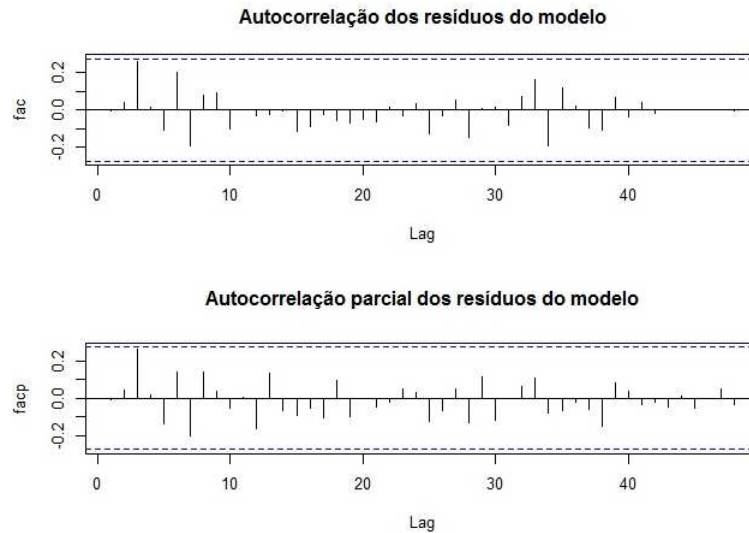


Figura 38 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, dos resíduos do modelo estimado.

Com as análises das séries temporais, observa-se que a modelagem baseada na metodologia de Box e Jenkins mostrou-se eficiente para representar as séries da evolução temporal de *T. urticae* e *N. californicus* nas etapas iniciais, captando os efeitos de tendência e sazonalidade ocorridos e descrevendo o comportamento destas, considerando a correlação existente entre as observações.

Por meio dos resultados obtidos pelas análises, foi possível verificar a presença de tendência nas séries da população de presa e predador em todas as temperaturas, pois como a população inicial é baixa, devido ao fator de Verhulst inserido no modelo, ela cresce até atingir um limite máximo sustentável. Verificou-se também, um efeito sazonal significativo nas quatro temperaturas, tanto para as séries da presa, quanto para as séries da população de predadores. Para *T. urticae* em 15 °C e 20 °C, verificou-se a presença apenas de uma componente sazonal; nas temperaturas de 25 °C e 30 °C foram captadas duas sazonalidades. As séries da população de *N. californicus*, apresentaram apenas uma componente sazonal,

em todas as temperaturas analisadas. Para melhor visualização, apresentam-se na Tabela 24 os períodos encontrados em cada temperatura para cada espécie.

Tabela 24 Períodos de sazonalidade das séries da população de *T. urticae* e *N. californicus* a 15 °C, 20 °C, 25 °C e 30 °C.

Temperatura	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
Períodos- <i>T. urticae</i>	40	21	13	11
	–	–	22	18
Períodos- <i>N. californicus</i>	22	13	11	7

Nas séries da população de *T. urticae*, as sazonalidades de 40, 21, 13 e 11 dias, podem estar relacionadas com o ciclo reprodutivo da espécie, pois esses períodos se aproximam do tempo que as fêmeas levam para reproduzir em cada temperatura de acordo com os resultados de Bertollo (2007). Já as sazonalidades de 22 e 18 dias, em 25 °C e 30 °C, respectivamente, podem estar relacionadas com a longevidade da espécie nessas temperaturas. As sazonalidades observadas nas séries da população de *N. californicus*, podem também estar relacionadas com o período de reprodução, visto que os períodos sazonais encontrados se aproximam também do ciclo reprodutivo do predador, obtidos experimentalmente por Vasconcelos (2006).

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. O modelo proposto reproduziu características importantes das populações de *T. urticae* e *N. californicus*, tais como, redução da longevidade e aumento da taxa intrínseca de crescimento das populações com o aumento da temperatura;
2. Na interação presa-predador, em todas as simulações realizadas o tempo necessário para extinção da presa tende a se estabilizar;
3. Em todas as simulações realizadas, a população de *T. urticae* foi extinta, independente da temperatura ou da população inicial;
4. *N. californicus* mostrou-se mais eficiente em temperaturas mais altas, onde o tempo de extinção da presa foi menor;
5. O consumo diário de presas e o número médio diário de descendentes por fêmea de *N. californicus*, diminuíram com o aumento da razão inicial de predador/presa;
6. Foi possível verificar a presença de tendência crescente nas séries da população de presa e predador, nas etapas temporais iniciais, em todas as temperaturas;
7. Para *T. urticae* em 15 °C e 20 °C, verificou-se a presença apenas de uma componente sazonal; nas temperaturas de 25 °C e 30 °C foram captadas duas sazonalidades;
8. As séries da população de *N. californicus*, apresentaram apenas uma componente sazonal, em todas as temperaturas analisadas.

REFERÊNCIAS

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, Boston, v. 19, n. 6, p. 716-723, Dec. 1974.

BERNARDES, A. T. Strategies for reproduction and ageing. **Annalen der Physik**, Leipzig, v. 5, n. 6, p. 539-550, Dec. 1996.

BERTOLLO, E. C. **Efeito da temperatura e do hospedeiro na biologia do ácaro rajado, *Tetranychus urticae* koch (Acari: Tetranychidae)**. 2007. 126 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2007.

BOUNFOUR, M.; TANIGOSHI, L. K. Effect of temperature on development and demographic parameters of *Tetranychus urticae* and *Eotetranychus carpini borealis* (Acari: Tetranychidae). **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v. 94, n. 3, p. 400-404, June 2001.

BOX, G.; JENKINS, G. M. **Time series analysis, forecasting and control**. San Francisco: Holden-Day, 1976. 575 p.

BOX, G.; PIERCE, D. Distribution of residual autocorrelations in autoregressive-integrated moving average time series models. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 65, p. 1509-1526, 1970.

CANLAS, L. J. et al. Biology and predation of the Japanese strain of *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae). **Systematic Applied Acarology**, Amsterdam, v. 11, n. 2, p. 141-157, Oct. 2006.

FLECHTMANN, C. H. W. **Ácaros de importância agrícola**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1976. 150 p.

FLECHTMANN, C. H. W. **Ácaros de importância agrícola**. 5. ed. São Paulo: Nobel, 1983. 189 p.

FRAULO, A. B.; MCSORLEY, R.; LIBURD, O. E. Effect of the biological control agent *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) on arthropod community structure in North Florida strawberry fields. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 91, n. 3, p. 436-445, Mar. 2008.

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

GERSON, U.; SMILEY, R. L.; OCHOA, R. **Mites (acari) for pest control**. Oxford: Blackwell Science, 2003. 539 p.

GOTOH, T.; NOZAWA, M.; YAMAGUCHI, K. Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of the two-spotted spider mite in the laboratory. **Applied Entomology and Zoology**, Tokyo, v. 39, n. 1, p. 97-105, Jan. 2004.

GOTOH, T.; TSUCHIYA, A.; KITASHIMA, Y. Influence of prey on developmental performance, reproduction and prey consumption of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae). **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 40, n. 304, p. 189-204, 2006.

GRBIC, M. et al. The genome of *Tetranychus urticae* reveals herbivorous pest adaptations. **Nature**, London, v. 479, n. 7374, p. 487-492, Nov. 2011.

KASAP, I. Effect of apple cultivar and of temperature on the biology and life table parameters of the twospotted spider mite *Tetranychus urticae*. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 32, n. 1, p. 73-82, 2004.

MCMURTRY, J. A.; CROFT, B. A. Life-style of phytoseiid mites and their roles in biological control. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 42, p. 291-321, Jan. 1997.

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

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 2006. 538 p.

OLIVEIRA, A. C. S.; MARTINS, S. G. F.; ZACARIAS, M. S. An individual-based model for the interaction of the mite *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) with its predator *Neoseiulus californicus* (McGregor, 1954) (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae). **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 255, p. 11-20, Apr. 2013.

PELS, B.; SABELIS, M. W. Local dynamics, overexploitation and predator dispersal in an acarine predator-prey system. **Oikos**, Buenos Aires, v. 86, n. 3, p. 573-583, 1999.

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

PRIESTLEY, M. B. **Spectral analysis and time series**. 6th ed. New York: Academic, 1989. 890 p. (Probability and Mathematical Statistical).

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

RIahi, E. et al. Temperature effects on development and life table parameters of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Journal of Agricultural Science and Technology**, London, v. 15, n. 4, p. 661-672, July 2013.

SILVEIRA NETO, S. et al. **Manual de ecologia dos insetos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 419 p.

VASCONCELOS, G. J. N. **Eficiência dos ácaros predadores *Phytoseiulus fragariae* e *Neoseiulus californicus* (acari: Phytoseiidae) no controle de *Tetranychus evansi* e *Tetranychus urticae* (acari: Tetranychidae) em *Lycopersicon esculentum* e *Solanum americanum***. 2006. 81 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2006.

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

APÊNDICE

APÊNDICE A - Séries temporais das populações de *T. urticae* nas temperaturas 15 °C, 20 °C, 25 °C e 30 °C.

Série da população de *T. urticae* na temperatura de 15 °C

As funções de autocorrelação (fac) e autocorrelação parcial (facp) são apresentadas na Figura 39.

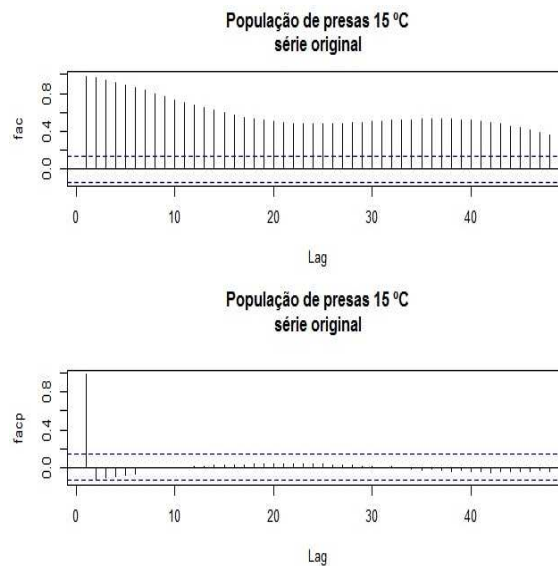


Figura 39 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, da população de *T. urticae* na temperatura de 15 °C.

Para tornar a série estacionária, aplicou-se a primeira diferença e uma diferença sazonal de ordem 40 nos dados. Na Figura 40, encontra-se o gráfico da série estacionária.

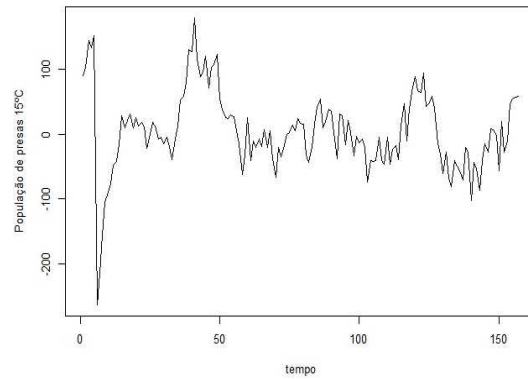


Figura 40 Série estacionária da população de *T. urticae* na temperatura de 15 °C.

Série da população de *T. urticae* na temperatura de 20 °C

As funções de autocorrelação (fac) e autocorrelação parcial (facp) são apresentadas na Figura 41.

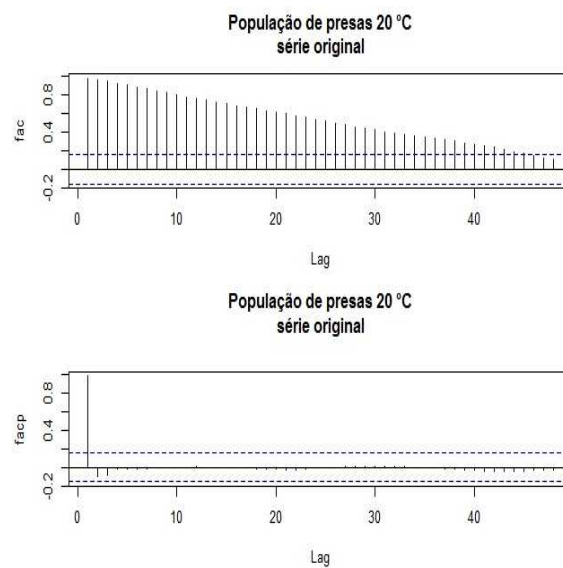


Figura 41 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, da população de *T. urticae* na temperatura de 20 °C.

Para tornar a série estacionária, aplicou-se a primeira diferença e uma diferença sazonal de ordem 21 nos dados. Na Figura 42, encontra-se o gráfico da série estacionária.

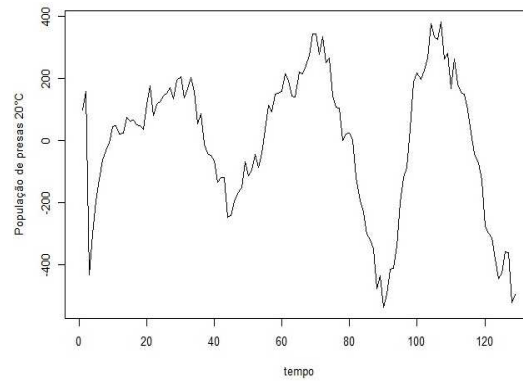


Figura 42 Série estacionária da população de *T. urticae* na temperatura de 20 °C.

Série da população de *T. urticae* na temperatura de 25 °C

As funções de autocorrelação (fac) e autocorrelação parcial (fACP) são apresentadas na Figura 43.

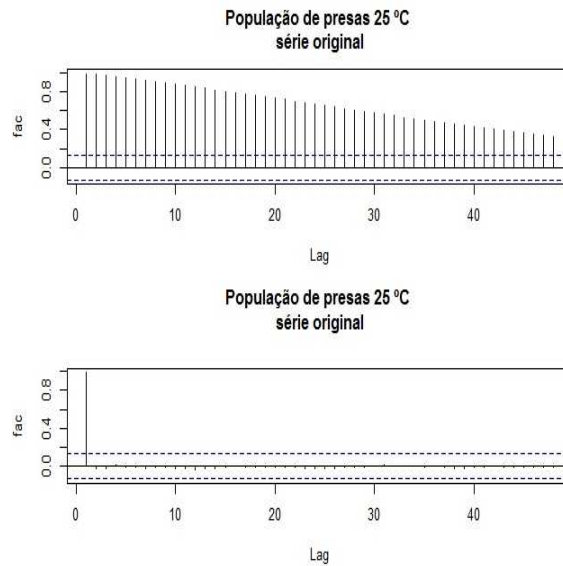


Figura 43 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, da população de *T. urticae* na temperatura de 25 °C.

Para tornar a série estacionária, aplicou-se a primeira diferença, uma diferença sazonal de ordem 13 e outra de ordem 22 nos dados. Na Figura 44, encontra-se o gráfico da série estacionária.

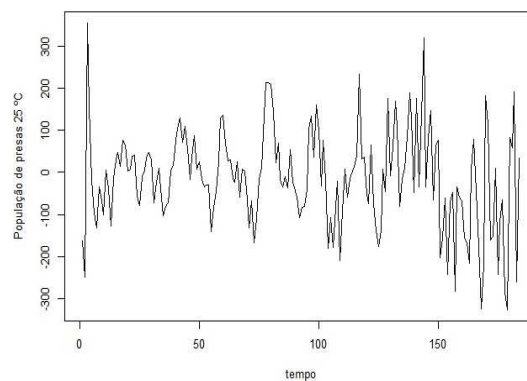


Figura 44 Série estacionária da população de *T. urticae* na temperatura de 25 °C.

Série da população de *T. urticae* na temperatura de 30 °C

As funções de autocorrelação (fac) e autocorrelação parcial (facp) são apresentadas na Figura 45.

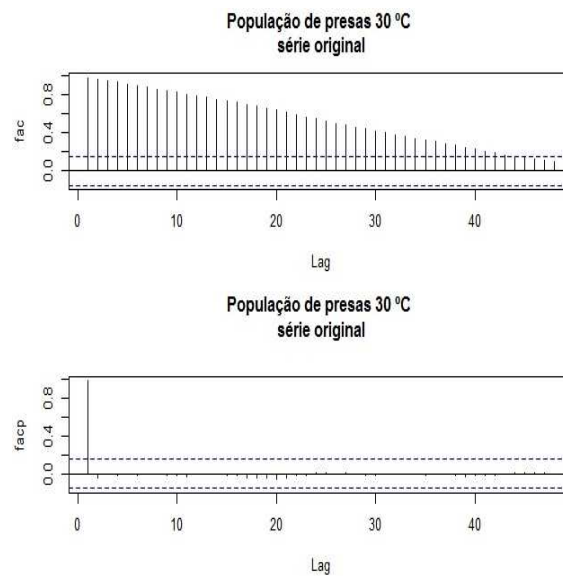


Figura 45 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, da população de *T. urticae* na temperatura de 30 °C.

Para tornar a série estacionária, aplicou-se a primeira diferença, uma diferença sazonal de ordem 11 e outra de ordem 18 nos dados. Na Figura 46, encontra-se o gráfico da série estacionária.

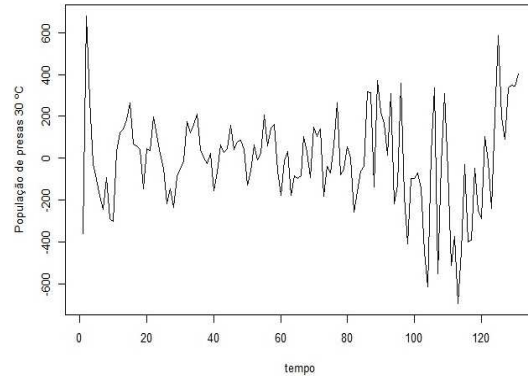


Figura 46 Série estacionária da população de *T. urticae* na temperatura de 30 °C.

APÊNDICE B

APÊNDICE B - Séries temporais das populações de *N. californicus* nas temperaturas 15 °C, 20 °C, 25 °C e 30 °C.

Série da população de *N. californicus* na temperatura de 15 °C

As funções de autocorrelação (fac) e autocorrelação parcial (facp) são apresentadas na Figura 47.

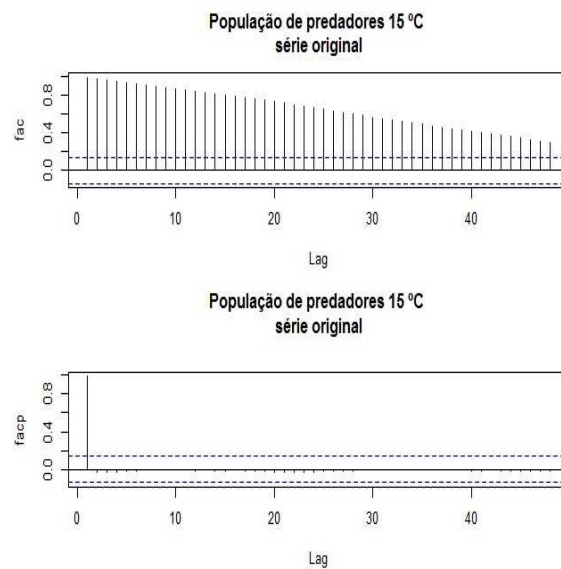


Figura 47 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, da população de *N. californicus* na temperatura de 15 °C.

Para tornar a série estacionária (Figura 48), aplicou-se a primeira diferença e uma diferença sazonal de ordem 22 nos dados.

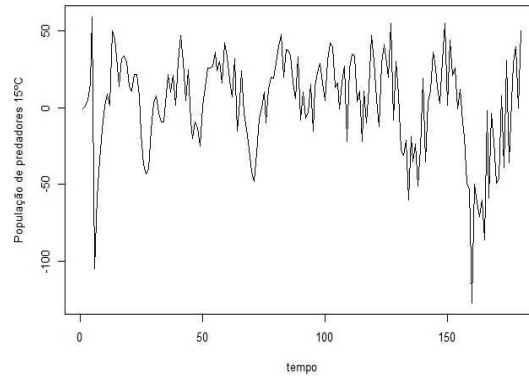


Figura 48 Série estacionária da população de *N. californicus* na temperatura de 15 °C.

Série da população de *N. californicus* na temperatura de 20 °C

As funções de autocorrelação (fac) e autocorrelação parcial (fapc) são apresentadas na Figura 49.

Para tornar a série estacionária, aplicou-se a primeira diferença e uma diferença sazonal de ordem 13 nos dados. Na Figura 50, encontra-se o gráfico da série estacionária.

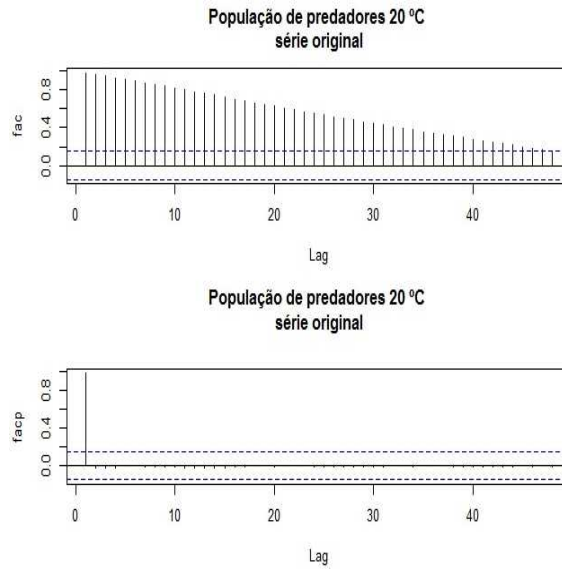


Figura 49 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, da população de *N. californicus* na temperatura de 20 °.

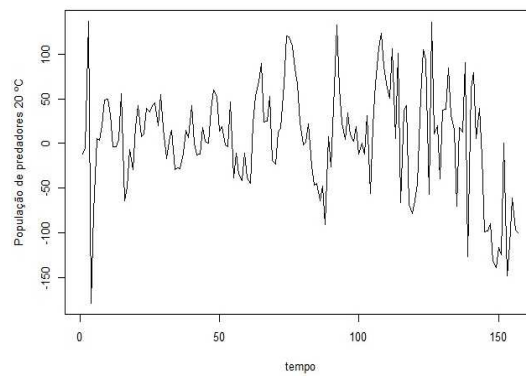


Figura 50 Série estacionária da população de *N. californicus* na temperatura de 20 °C.

Série da população de *N. californicus* na temperatura de 25 °C

As funções de autocorrelação (fac) e autocorrelação parcial (facp) são apresentadas na Figura 51.

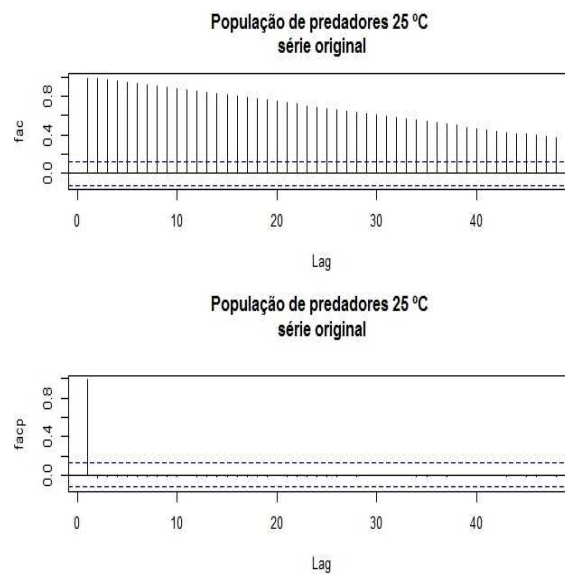


Figura 51 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, da população de *N. californicus* na temperatura de 25 °C.

Para tornar a série estacionária, aplicou-se a primeira diferença e uma diferença sazonal de ordem 11 nos dados. Na Figura 52, encontra-se o gráfico da série estacionária.

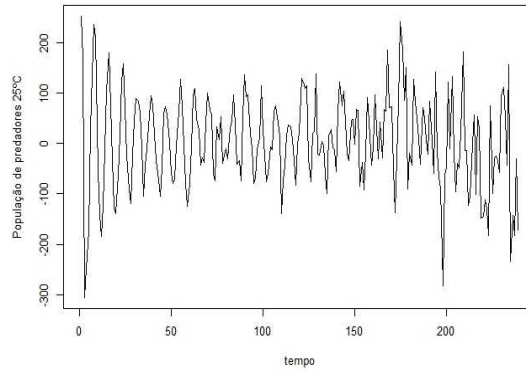


Figura 52 Série estacionária da população de *N. californicus* na temperatura de 25 °C.

Série da população de *N. californicus* na temperatura de 30 °C

As funções de autocorrelação (fac) e autocorrelação parcial (fapc) são apresentadas na Figura 53.

Para tornar a série estacionária, aplicou-se a primeira diferença e uma diferença sazonal de ordem 7 nos dados. Na Figura 54, encontra-se o gráfico da série estacionária.

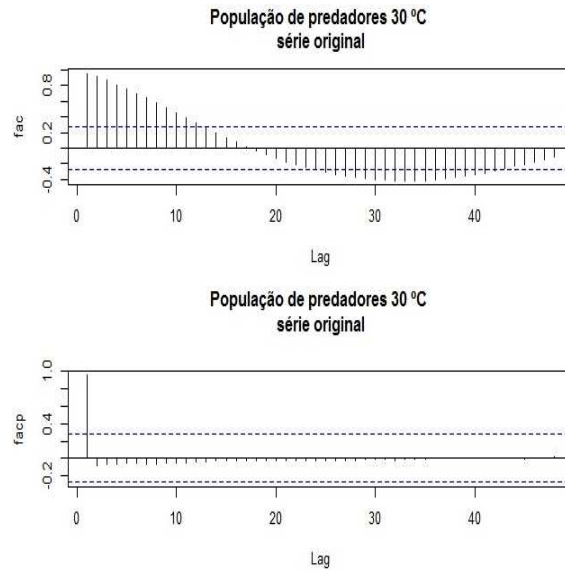


Figura 53 Função de autocorrelação (FAC) e função de autocorrelação parcial (FACP), respectivamente, da população de *N. californicus* na temperatura de 30 °C.

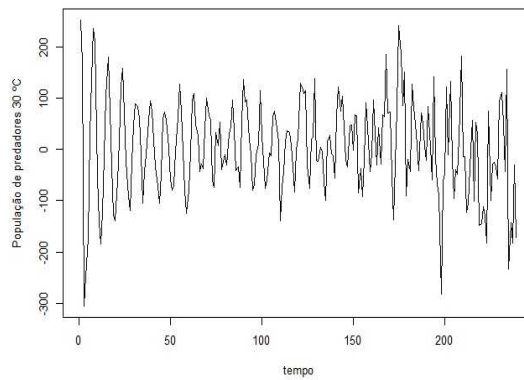


Figura 54 Série estacionária da população de *N. californicus* na temperatura de 30 °C.