

# COMPARAÇÃO DE TAXAS DE CRESCIMENTO POPULACIONAL EM ARTRÓPODES UTILIZANDO TESTES PERMUTACIONAIS

Aline de Holanda Nunes Maia, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, C. P. 69,  
ahmaia@cnpma.embrapa.br

**RESUMO:** O método “jackknife” é largamente utilizado para estimar incertezas associadas a parâmetros de tabelas de vida e fertilidade, utilizados para quantificar crescimento populacional em artrópodes. As estimativas “jackknife” da variância são utilizadas em testes para avaliar o efeito de tratamentos sobre tais parâmetros. No entanto, quando há fêmeas que não ovipositam durante o período de avaliação, o método “jackknife” não pode ser usado, devido a problemas no cálculo dos pseudovalores que levam à obtenção de alguns valores negativos para as estimativas da taxa líquida de reprodução. Como alternativa aos testes que utilizam estimativas “jackknife” da variância propomos o uso de testes permutacionais. Apresentamos dois exemplos, utilizando dados simulados, onde é avaliado o efeito linear de um fator quantitativo sobre a taxa intrínseca de crescimento populações hipotéticas de artrópodes (espécie I e espécie II). O método pode também ser aplicado para avaliação de efeitos quantitativos descritos por modelos não lineares e testes de hipóteses representadas por contrastes lineares entre médias de tratamentos qualitativos.

**Palavras chave:** taxa intrínseca de crescimento, dinâmica populacional, regressão linear, métodos computacionalmente intensivos.

## 1. INTRODUÇÃO

Taxas de crescimento populacional são importantes indicadores em estudos sobre a eficiência de espécies de artrópodes como agentes de controle biológico e aspectos de biossegurança relacionados ao seu possível impacto sobre artrópodes não-alvo (Bleicher & Parra, 1990; Nascimento et al., 1998; Nardo et al. 2001). Nesses estudos, dados de oviposição e sobrevivência de cada um dos tratamentos avaliados são condensados em tabelas de vida e fertilidade, para posterior estimação dos parâmetros taxa líquida de reprodução ( $R_0$ ), taxas intrínsecas de crescimento ( $R_m$ ), tempo de duplicação ( $Dt$ ), intervalo entre gerações ( $T$ ) e razão finita de crescimento ( $\Lambda$ ). Os testes estatísticos para comparação de grupos com relação ao  $R_m$  requerem a quantificação da incerteza associada às estimativas desse parâmetro em cada grupo. As estimativas da variância dos  $R_m$  são tradicionalmente obtidas utilizando o método “jackknife” (Meyer et al., 1986; Maia et al., 2000). No entanto, quando algumas das fêmeas utilizadas nos ensaios não ovipositam, o uso do método “jackknife” torna-se inviável devido a limitações do próprio algoritmo. Como alternativa aos testes que utilizam estimativas “jackknife” da variância propomos o uso de testes permutacionais (Manly,

1991) para testar hipóteses sobre efeitos de fatores qualitativos e quantitativos sobre parâmetros associados a TBVF ( $R_m$ ,  $R_o$ ,  $T$ ,  $D_t$  e  $\Lambda$ ). Apresentamos exemplos, utilizando dados simulados, onde é avaliado o efeito linear de um fator quantitativo (temperatura) sobre a taxa intrínseca de crescimento de populações de duas espécies hipotéticas de artrópodes.

## 2. METODOLOGIA

Foram gerados dois conjuntos de dados gerados de acordo com as características descritas na Tabela 1, para aplicação do método proposto. No primeiro conjunto (espécie I), os dados foram gerados considerando efeito linear crescente da temperatura sobre o número de ovos postos por fêmea; no segundo (espécie II), considerou-se um efeito menos intenso da temperatura sobre a oviposição. Os grupos 1, 2 e 3 correspondem às temperaturas de 25, 30 e 35°. C, respectivamente.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para geração dos dados nos exemplos I e II.

Parâmetro	Grupo (g)	Espécie1	Espécie2
No. de ovos em cada data dia $t$ para fêmeas do grupo	1,2,3	Poisson ( $\lambda_{gt}$ ) $\lambda_{gt} = (g/10).f(t)$ $f(t) = -4.t^2 + 40*t + 1$	Poisson ( $\lambda_{gt}$ ) $\lambda_{gt} = [(g+30)/100].f(t)$ $f(t) = -4.t^2 + 40*t + 1$
No. de fêmeas que ovipositaram	1,2,3	Binomial ( $N_g, 0.2$ )	Binomial ( $N_g, 0.2$ )
No. de fêmeas ( $N_g$ )	1	10	10
	2	9	9
	3	7	7
Porcentagem de fêmeas nos descendentes ( $Pct\_Fem$ )	1	0,49	0,49
	2	0,50	0,50
	3	0,51	0,51
Sobrevivência na fase imatura ( $SFI_{mat}$ )	1	0,50	0,51
	2	0,70	0,54
	3	0,90	0,49

Utilizamos testes permutacionais para testar a hipótese de ausência de efeito linear da temperatura sobre o parâmetro  $R_m$  da população hipotética de artrópodes em cada espécie. O método é constituído-se dos seguintes passos: a) alocação aleatória das unidades experimentais (fêmeas) aos tratamentos. Foram geradas 1000 alocações aleatórias (experimentos Monte Carlo); b) estimação dos parâmetros associados às TBVF, correspondentes a cada tratamento e experimento utilizando um procedimento iterativo (Southwood, 1978); c) ajuste de modelos de regressão para descrever o efeito da temperatura ( $TEMP$ ) sobre o  $R_m$  para o conjunto de dados originais ( $j=0$ ) e cada um dos experimentos ( $j=1$  to 1000),  $rm_{ij} = \beta_0 + \beta_1.TEMP_i + \varepsilon_{ij}$ , onde  $\beta_0$  e  $\beta_1$  são parâmetros do modelo,  $rm_{ij}$ , a taxa intrínseca de crescimento correspondente ao tratamento  $i$  e experimento  $j$ , e  $\varepsilon_{ij}$  o erro aleatório associado a cada  $rm_{ij}$  ( $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_j^2)$ ); d) construção da distribuição empírica utilizando as estimativas de  $\beta_1$  obtidas em cada experimento; e) teste das hipóteses  $\beta_1 = 0$  versus  $\beta_1 > 0$ , utilizando a distribuição empírica das estimativas de  $\beta_1$ . O valor  $p$  associado à hipótese de interesse corresponde à razão entre o número de estimativas de  $\beta_1$  superiores à estimativa de  $\beta_1$  obtida para o conjunto de dados originais.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os padrões de oviposição correspondentes às temperaturas 25, 30 e 35° C para os experimentos I e II são apresentados na Figura 1. Os “box-plots” do número de ovos postos por fêmea, na Figura 2. Observa-se padrão temporal quadrático da oviposição nas três temperaturas, para ambas as espécies. O efeito da temperatura sobre o número de ovos postos por fêmea foi mais evidente na espécie I, resultados consistentes com os cenários utilizados para geração dos dados.

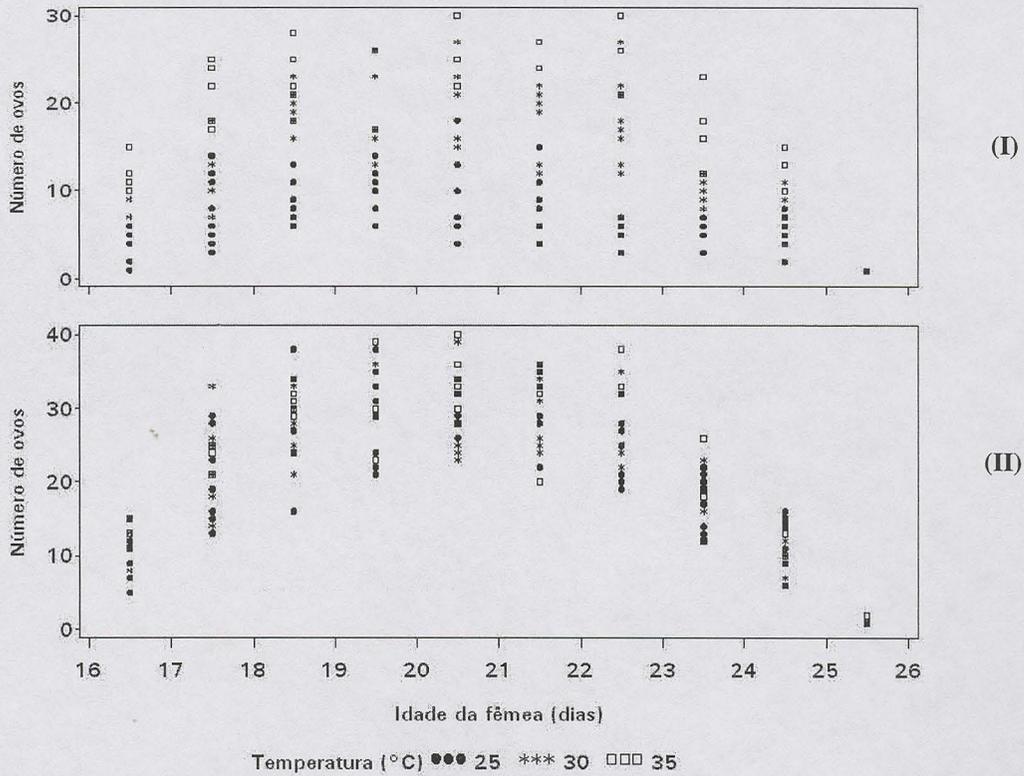


Figura 1. Padrões temporais de oviposição para as espécies I e II, nas temperaturas 25, 30 e 35 °C.

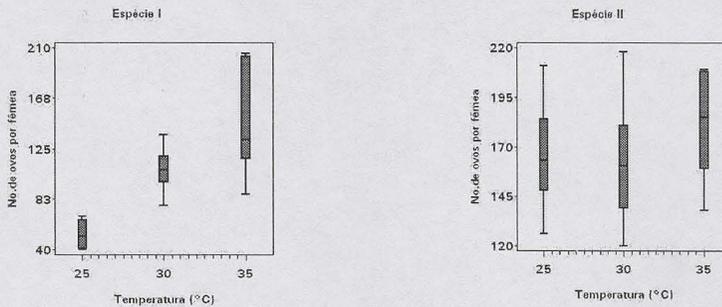
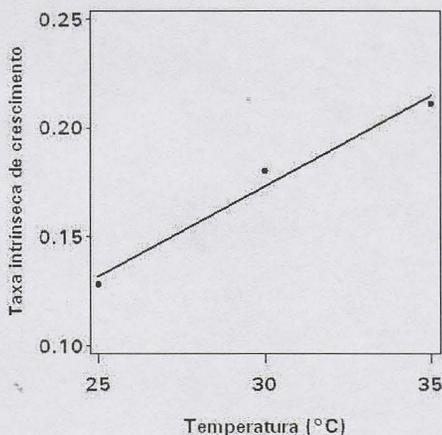
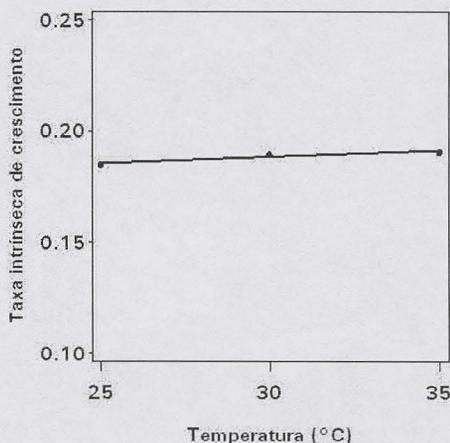


Figura 2. “Box plots” do número de ovos postos por fêmea para os experimentos I e II.

Os modelos de regressão descrevendo o efeito linear da temperatura sobre o  $R_m$  (Figura 3) foram ajustados pelo método de quadrados mínimos, utilizando as estimativas ( $rm_i$ ) dos parâmetros  $R_m$  em cada temperatura, no conjunto de dados original ( $j=0$ ). As estimativas dos parâmetros de  $\beta_0^*$  e  $\beta_1^*$  foram  $b_0 = -0.0749$  e  $b_1 = 0.00827$  para o experimento I e  $b_0 = 0,1708$  e  $b_1 = 0,00058$ , respectivamente. As hipóteses  $\beta_1=0$  versus  $\beta_1>0$ , em cada espécie, foram testadas utilizando as distribuições empíricas de  $b_0$  e  $b_1$  (Figura 4). Os valores p associados às referidas hipóteses foram 0.00058 e 0,152 para as espécies I e II, respectivamente, indicando efeito pronunciado da temperatura para a espécie I e efeito moderado para a espécie II.



(I)



(II)

Figura 3. Efeito da temperatura sobre a taxa intrínseca de crescimento da população de artrópodes para as espécies I e II (espécie I:  $rm_{ij} = -0.0749 + 0.00827 \cdot TEMP_i$ ; espécie II:  $rm_{ij} = 0,1708 + 0,00058 \cdot TEMP$ ).

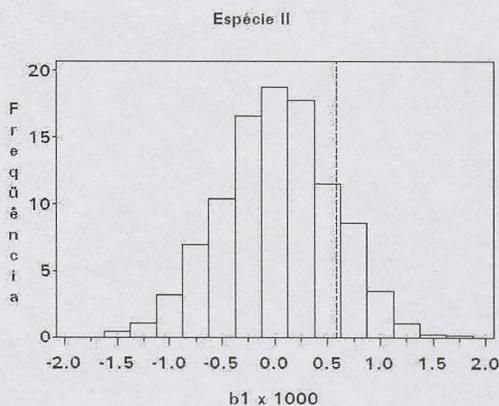
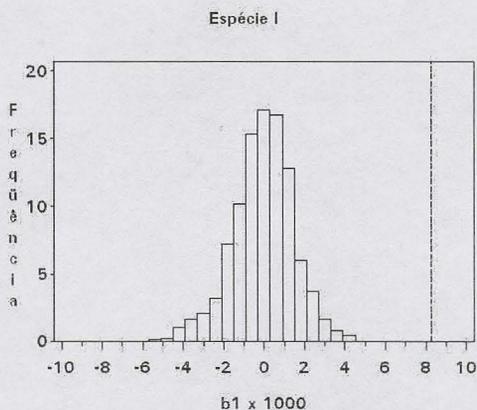


Figura 4. Distribuições empíricas das estimativas do efeito linear da temperatura ( $b_1$ ) sobre a taxa intrínseca de crescimento ( $R_m$ ) para as espécies I e II.

Possíveis imitações do uso de testes permutacionais para fazer inferências sobre parâmetros associados a TBVF são problemas de convergência em processo iterativos utilizados em estimação não linear e tempo computacional requerido para conjuntos de dados com grande número de unidades experimentais e/ou ajuste de modelos complexos.

#### 4. CONCLUSÕES

Testes permutacionais são ferramentas úteis e adequadas para testar hipóteses sobre parâmetros associados a tabelas de vida e fertilidade em casos onde os métodos tradicionalmente utilizados apresentam limitações. Os procedimentos apresentados neste trabalho podem também ser adaptados para investigação de efeito quantitativos, descritos por modelos não lineares ou ainda testes de hipóteses representadas por contrastes lineares entre estimativas de qualquer um dos parâmetros associados às tabelas de vida e fertilidade.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bleicher, E.; Parra., J. R. P.(1990). Espécies de Trichogramma parasitoides de Alabama argillacea. II. Tabela de vida e fertilidade e parasitismo de três populações. *Pesq. Agropec. Bras.* 25: 207-214.
- Maia, A. de H. N.; Luiz, A. J. B.; Campanhola, C. (2000) Statistical Inferences on associated lifetable parameters using jackknife technique: computational aspects. *J. Econ. Entomol.* 93(2):511-518.
- Manly, B. F. J. 1991. Randomization tests and Monte Carlo methods in Biology. Chapman & Hall, London.
- Meyer, J. S., C. G. Igersoll, L. L. MacDonald and M. S. Boyce. 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: jackknife versus bootstrap techniques. *Ecology* 67: 1156-1166.
- Nardo, E. A. B; Maia, A. H. N. Watanabe, M. A. 2001. Effect of a formulation of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) on the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae: Asopinae) using fertility life table parameters. *Environ. Entomol.* 30(6): 1164-1173.
- Nascimento, M. L., D. F. Capalbo, G. J. Moraes, E. A. B. De Nardo, A. de H. N. Maia and R. C. A. L. Oliveira. 1998. Effect of a formulation of *Bacillus thuringiensis* Berliner var. *kurstaki* on *Podisus nigrispinus* Dallas (Heteroptera: Pentatomidae asopinae). *J. Invert. Path.* 72 : 178-180.
- Southwood, T. R. E. 1978. Ecological methods with particular reference to the study of insect population. 2 nd ed. Chapman & Hall, London, 1978.