

Teste Frequentista Condicional sobre o Parâmetro Média da Normal e sua aplicação a dados entomológicos

Conditional Frequentist Test on Normal Mean Parameter and its application in entomological data

Carla R. G. Brighenti¹; Thelmo G. S. Oliveira²; Deodoro M. Brighenti³

Resumo

O teste frequentista condicional é aquele que, diferentemente dos testes tradicionais, em que o valor de erro tipo I (α) é fixado, propõe uma partição da região de rejeição e de aceitação de modo que a probabilidade de erro apresentada seja dependente da distância dos dados observados em relação à fronteira da região crítica. Essa probabilidade de erro é a Probabilidade de Erro Condicional (PEC), podendo ser do tipo I ou II. O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento do teste frequentista condicional sob o parâmetro média da distribuição Normal e aplicá-lo a dados entomológicos. O teste foi avaliado via simulação, a partir de rotina desenvolvida no software R, obtendo-se a razão de verossimilhanças, o valor crítico e as PEC's para a distribuição Normal em cada caso simulado. Concluiu-se que quanto mais o valor da média amostral se encontra próximo ao ponto crítico do teste, maior o valor da PEC, independente da decisão do teste em aceitar ou rejeitar a hipótese nula. O aumento dotamanho amostral influenciou fortemente na redução da probabilidade de erro condicional. Na aplicação com um conjunto de dados reais provenientes do tempo médio de vida de abelhas submetidas a diferentes temperaturas, concluiu-se que, o tempo médio de vida das abelhas mantidas na temperatura de 20°C foi considerado semelhante a temperatura de 15°C, com PEC II igual a 0,54%, ou seja, pequeno erro, enquanto que para as temperaturas de 30°C e 35°C esta hipótese foi rejeitada mas com PEC I igual a 28,35% e 47,53% respectivamente, ou seja, altos índices de erro na tomada de decisão.

Palavras-chave: Razão de Verossimilhanças, Função Particionante, Probabilidade de Erro Condicional, abelhas africanizadas.

Abstract

In the traditional tests the value of type I error (α) is fixed, on the other hand, in the conditional frequentist test we propose a partition of the region of rejection and acceptance so that the probability of error presented is dependent on the distance of observed data in relation to the border of the critical region. This error probability is the Conditional Error Probability (CEP), which may be of type I or II. The objective of this study was to evaluate the behavior of the conditional frequentist test under the

¹ Prof. Dra. em Estatística e Experimentação Agropecuária, Universidade Federal de São João Del Rei – MG, Departamento de Zootecnia – DEZOO; carlabrighenti@ufsj.edu.br

² Graduando em Zootecnia pela Universidade Federal de São João Del Rei. Email: oliveira.thelmo@yahoo.com.br

³ Prof. Dr. Entomologia, Universidade Federal de São João Del Rei – MG, Departamento de Zootecnia – DEZOO; deodoro@ufsj.edu.br

Normal Mean parameter and apply it to entomological data. The test was evaluated via simulation, from developed routine in R software. In each simulated case obtained the likelihood ratio, the critical value and the PEC's for the Normal distribution. It was concluded that the highest values of PEC were obtained with the more the sample mean value approaching the critical point of the test. This occurs regardless of the decision of the test to accept or reject the null hypothesis. The increase of the sample size causes the reduction of the conditional probability of error. In the application to real data from the average lifetime of bees exposed to different temperatures, it was found that the average lifetime of bees maintained at a temperature of 20°C was found to be similar at a temperature of 15°C with conditional error very small (CEP II equal to 0.54%). For temperatures of 30°C and 35°C the hypothesis was rejected with PEC I equal to 28.35% and 47.53%, respectively. Thus the conditional errors in decision making were very high.

Key words: Likelihood Ratio, Partitioning Function, Conditional Error Probability, Africanized bees.

Introdução

A Inferência Estatística tem por objetivo fazer afirmações sobre características de uma população com base em informações obtidas por dados amostrais. Em geral, essas afirmações traduzem-se em problemas fundamentais da inferência como a estimação de parâmetros. Pode-se também dispor de determinadas hipóteses sobre a característica da população em questão, e o que se deseja é testar as hipóteses e decidir pela aceitação ou rejeição de uma delas em favor de outra, determinando-se um teste de hipóteses.

Os testes de hipóteses frequentistas tradicionais apresentam probabilidades de erro pré-experimentais, isto é, independentes dos dados observados x_1, \dots, x_n . Assim, a probabilidade de cometer algum tipo de erro é a mesma, independentemente de os dados estarem próximos à fronteira da região de rejeição do teste ou não (MOOD; GRAYBILL; BOES, 1974). Uma forma tradicional de contornar este problema é através de um teste de significância, utilizando o *valor-p*. Mas *valores-p* não são verdadeiras medidas de erros frequentistas, assim, não são vistos como soluções frequentistas para o problema e podem ocasionar dificuldade de interpretação (BRIGHENTI, 2007).

Uma solução frequentista, proposta por Kiefer (1977), foi a metodologia denominada “*teste frequentista condicional*”. A ideia básica desse teste é particionar o espaço amostral \mathcal{X}^n utilizando uma função particionante que será denominada

$H(x)$, e então desenvolver medidas frequentistas condicionais em \mathcal{X}_z , o subespaço amostral obtido a partir da partição Z . Estas medidas são totalmente frequentistas e são mais conclusivas para decisões a serem tomadas.

Neste tipo de teste, diferentemente do teste de hipóteses tradicional, em que se fixa o valor de erro tipo I (α), em, por exemplo, 5%, propõe-se uma partição da região de rejeição (e também da região de aceitação) de modo que a probabilidade de erro apresentada seja dependente da distância dos dados observados em relação à fronteira da região crítica, esta medida é chamada Probabilidade de Erro Condicional (PEC), sendo que na PEC I (α_x) rejeita-se a hipótese nula H_0 quando de fato ela é verdadeira e na PEC II (β_x) aceita-se H_0 quando de fato ela é falsa.

A função particionante $H(x)$ define partições que podem não possuir boas propriedades para as probabilidades de erros condicionais. Portanto, é necessário procurar alguma restrição. Kiefer (1977) recomendou uma partição denominada “partição contínua com erros condicionais iguais”, isto é, uma partição que fornece valores numericamente iguais para as PEC's do Tipo I e II, ou seja, $\alpha_x = \beta_x$.

A função $H(x)$ define, então, uma “partição contínua”. Considerando esta partição, as probabilidades de erros condicionais são dadas por:

$$\alpha_x = \frac{f_0(H(x))|H'(x)|}{f_0(H(x))|H'(x)| + f_0(x)} e$$

$$\beta_x = \frac{f_1(x)}{f_1(H(x))|H'(x)| + f_1(x)},$$

em que $f_0(\cdot)$ e $f_1(\cdot)$ correspondem as duas distribuições completamente especificadas das quais é possível obter a amostra aleatória x_1, \dots, x_n . Daí, tem-se que, $H_0: X \sim f_0(\cdot; \theta_0)$ contra $H_1: X \sim f_1(\cdot; \theta_1)$, em que θ_i corresponde ao parâmetro populacional.

Assim sendo, a propriedade de interesse é que dentro de cada conjunto da partição se tenha pontos k para os quais ocorra a “mesma força de evidência”, tanto pra rejeitar quanto para aceitar a hipótese nula. Entenda-se “força de evidência” como uma grandeza que indica, por meio de cálculos de probabilidade, a existência de indícios para rejeição ou aceitação de uma hipótese.

Então, um teste frequentista condicional Y é dado pelo modelo de estrutura apresentado a seguir:

$$Y = \begin{cases} \text{se } x \leq k, \text{ rejeita - se } H_0 \text{ com } PEC I = \alpha_x \\ \text{se } x > k, \text{ aceita - se } H_0 \text{ com } PEC II = \beta_x \end{cases}$$

Em resultados de experimentos laboratoriais é muito comum a utilização de teste de hipóteses tradicionais, no entanto, se a diferença entre os valores das hipóteses testadas não é considerada estatisticamente significativa, quando o pesquisador esperava que esta o fosse, ele tende a questionar o teste. Com a utilização do teste frequentista condicional, a probabilidade de erro apresentada depende dos dados, então, é possível tomar uma decisão de rejeição ou aceitação da hipótese incluindo uma probabilidade de erro que será maior ou menor de acordo com a proximidade dos dados obtidos no experimento, em relação a fronteira da região crítica.

Uma das possíveis aplicações da teoria do teste frequentista condicional é na avaliação de dados modelados por uma distribuição normal $N(\mu, \sigma^2)$, como por exemplo, dados de tempo médio de vida de abelhas provenientes de experimento com operárias de abelhas africanizadas submetidas a diferentes temperaturas de confinamento. Deve-se

ressaltar que usualmente utilizam-se distribuições como a de Weibull para modelar o tempo de vida de insetos (GUIMARÃES; CIRILLO.; BRIGHENTI, 2004). No entanto, neste caso, modelou-se não o tempo de vida e sim o tempo médio de vida, o que, de acordo com o Teorema Central do Limite permite afirmar que, com grandes tamanhos amostrais, a distribuição de probabilidade que modela a distribuição amostral da média, independente da distribuição da população de referência, é uma distribuição aproximadamente normal.

Os insetos apresentam metabolismo acelerado em altas temperaturas ($> 40^\circ\text{C}$) e desacelerado em baixas temperaturas ($< 10^\circ\text{C}$), o que pode então influenciar a sobrevivência das abelhas. Os entomólogos utilizam uma temperatura intermediária, sendo a mais comum a de 25°C , temperatura normalmente utilizada por pesquisadores dos Estados Unidos (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1996).

Em países de clima temperado, operárias de *Apis mellifera* possuem longevidade média de 28,5 dias no verão (WINSTON; CHALMERS; LEE, 1983). No outono e primavera a longevidade aumenta para 45 dias e no inverno, pelo fato das operárias ficarem quase inativas e conseqüentemente, suas taxas metabólicas serem mais lentas, o tempo médio de vida eleva-se para 140 dias (OLIVEIRA; BARRETO, 1987).

No entanto, em países de clima tropical como o Brasil, a expectativa de vida de abelhas africanizadas em confinamento é de aproximadamente 25 dias (BRIGHENTI; CIRILLO; BRIGHENTI, 2008), assim, a temperatura de 25°C pode não ser aquela que ocasiona maior sobrevivência desses insetos.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do teste frequentista condicional com partição de erros condicionais iguais sobre o parâmetro média da distribuição normal via simulação e utilizar tal teste em avaliação de tempos médios de vida de abelhas africanizadas em diferentes temperaturas.

Metodologia

Inicialmente, foi elaborada uma rotina no software R-2.12.1(R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012) para simulação de dados provenientes de distribuição normal, obtenção da razão de verossimilhanças, do valor crítico em cada caso e da probabilidade de erro condicional do teste frequentista condicional com partição de erros condicionais iguais.

Avaliou-se as probabilidades de erro condicionais resultantes das simulações considerando como parâmetros para média, os valores da distribuição $\mu_0 = 3$ e $\mu_1 = 1$, referindo-se às hipóteses nula e alternativa, respectivamente. Considerando que, para testes frequentistas condicionais, o cálculo da PEC deve ser realizada a cada passo, é interessante estabelecer tamanhos amostrais que sejam viáveis em pesquisa experimental. Sabendo que, amostras grandes ($n > 30$) são dispendiosas e demandam mais tempo de manipulação e amostras pequenas ($n < 30$) são menos precisas e pouco confiáveis, optou-se então por simular o desempenho do teste frequentista condicional em situações adversas utilizando amostras de tamanho $n=10, 30$ e 100 .

Gerou-se, por simulação, dados provenientes de uma população de acordo com uma distribuição normal

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{1}{(\sigma\sqrt{2\pi})^n} e^{\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2\right\}} \quad (1)$$

cuja razão de verossimilhanças $B(x)$ é dada por:

$$B(x) = \frac{f_0(x)}{f_1(x)} = \frac{e^{\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_0)^2\right\}}}{e^{\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_1)^2\right\}}} \quad (2)$$

Como se trata de uma situação de razão de verossimilhanças simétrica, a estatística condicionante é dada por: $Z = \max(B(x), B(x)^{-1})$ (BRIGHENTI; CHAVES, 2007).

A função particionante $H(x)$ foi obtida pela solução da equação integral (3) que considera os erros condicionais iguais (KIEFER, 1977).

$$\int_{-\infty}^{H(x)} \sqrt{f_1(t)f_0(t)} dt = \int_x^{\infty} \sqrt{f_1(u)f_0(u)} du \quad (3)$$

Para obtenção do valor crítico (x^*) foi utilizada a condição de erros iguais ($\alpha_x = \beta_x$) em que se tem a seguinte equação integral:

$$\int_{-\infty}^{x^*} \sqrt{f_1(t)f_0(t)} dt = \int_{x^*}^{\infty} \sqrt{f_1(u)f_0(u)} du \quad (4)$$

Através da razão de verossimilhanças $B(x)$ e da estatística condicionante Z , estimou-se a probabilidade de erro condicional tipo I (α_x) ou tipo II (β_x), de acordo com a aceitação ou rejeição da hipótese nula, dada por:

$$\alpha_x = \frac{B(x)}{1+B(x)} \quad \beta_x = \frac{1}{1+B(x)}$$

Posteriormente, a teoria do teste frequentista condicional foi aplicada a um conjunto de dados reais do tempo de vida de operárias de abelhas africanizadas em três diferentes temperaturas (20°C, 30°C e 35°C). O estudo em questão analisa o intervalo de 20° C a 35° C, por ser o intervalo de melhor rendimento metabólico dos insetos em clima tropical.

As abelhas foram alimentadas com mel cristalizado e água *ad libitum*, mantidas em gaiolas cilíndricas, com 10 cm de altura e 15 cm de diâmetro, em câmaras climatizadas com fotoperíodo de 12 horas e umidade relativa de 70 ± 10 %. Para cada tratamento utilizou-se 10 gaiolas contendo 10 abelhas cada. Deve-se ressaltar que o tempo médio de vida de abelhas operárias em clima tropical é de 36 a 40 dias e que neste experimento foram utilizadas abelhas forrageadoras com idade entre 15 e 18 dias em confinamento.

Como os valores de tempo médio de vida a 25°C e 15°C são citados na literatura (BRIGHENTI; CIRILLO; BRIGHENTI, 2008), estes foram utilizados como padrão para formulação das hipóteses precisas.

As hipóteses testadas foram as seguintes:

H_0 : μ_0 média do tempo de vida de operárias de abelhas africanizadas a 25°C.

H_1 : μ_1 média do tempo de vida de operárias de abelhas africanizadas a 15°C.

Resultados e Discussões

A partir dos resultados de varias simulações para analisar a eficiência da tomada de decisão, com os diferentes tamanhos de amostras, para as hipóteses $H_0: \mu_0 = 3$ e $H_1: \mu_1 = 1$, elaborou-se a Tabela 1. Incluiu-se a média amostral obtida em cada simulação e a decisão tomada em rejeitar (R) ou aceitar (A) a hipótese nula, atribuindo-se em cada situação a respectiva PEC I ou PEC II. Neste caso, por se tratar de distribuição Normal simétrica, considerando as variáveis iguais, o valor crítico do teste é dado pelo valor médio $x^* = 2$. É importante ressaltar que, apenas no caso de distribuição normal com variância iguais, e critério $\alpha_x = \beta_x$, é possível afirmar que x^* será o ponto médio, entre μ_0 e μ_1 . Caso isto não ocorra será necessário encontrar x^* através da equação integral dada em (4).

Utilizou-se como parâmetro populacional para obtenção dos dados simulados, dois valores de média, sendo um abaixo $\mu = 1,7$ (Tabela 1) e o outro acima $\mu = 2,3$ (Tabela 2).

Tabela 1 - Resultados da simulação de dados utilizando $\mu_0 = 3$, $\mu_1 = 1$, $\sigma^2 = 1$, $x^* = 2$, sendo a média populacional testada igual a 1,7 com 10 simulações para cada tamanho de amostra.

Tamanho da amostra simulada	$\mu_{\text{Simulado}} = 1,7$		
	Média da amostra simulada	Decisão	PEC (%)
10	1,680	R	0,16
	2,324	A	0,15
	1,547	R	0,01
	1,997	R	48,58
	2,003	A	48,37
	1,736	R	0,51
	2,284	A	0,33
	2,140	A	5,73
	1,848	R	4,65
	1,294	R	<0,01
30	1,903	R	0,30
	1,865	R	0,03
	2,091	A	0,42
	1,938	R	2,30
	1,695	R	<0,01
	1,703	R	<0,01
	1,742	R	<0,01
	1,647	R	<0,01
	1,859	R	0,02
	1,718	R	<0,01
100	1,651	R	<0,01
	1,578	R	<0,01
	1,841	R	<0,01
	1,796	R	<0,01
	1,655	R	<0,01
	1,696	R	<0,01
	1,673	R	<0,01
	1,650	R	<0,01
	1,714	R	<0,01
	1,734	R	<0,01

Fonte: Própria.

Na Tabela 1, observa-se que quanto mais o valor da média simulada se encontra próximo ao ponto crítico, maior é a Probabilidade de Erro Condicional apresentada, sendo obtidas decisões diferentes para amostras de uma mesma população, evidenciando a importância da inclusão da medida de erro condicional apresentada pelo teste frequentista condicional.

Para a média populacional pouco abaixo do valor crítico, estando assim, mais próxima da hipótese alternativa, seria esperada a rejeição da hipótese nula, no entanto, condicionado às diferentes observações amostrais, obteve-se resultados também de aceitação da hipótese nula, principalmente para o tamanho amostral 10, em que se obteve-se 40% de aceitação da hipótese nula. No entanto, se os valores de PEC apresentados forem analisados, é possível observar, que, nos casos em que a média amostral ficou mais próxima do ponto crítico $x^*=2$, os valores de erro condicional foram muito altos, inclusive nos casos em que houve rejeição, chegando a apresentar PEC superior a 48%. Isto evidencia a eficiência do teste, pois quando a decisão tomada foi a de aceitação, em apenas dois casos o erro condicional apresentado foi inferior a 5%.

Quando considerou-se o tamanho amostral igual a 30, o percentual de aceitações da hipótese nula diminuiu para apenas 10%, e no caso de tamanho amostral 100, houve rejeição da hipótese nula em todos os casos e sempre com probabilidade de erro condicional menor que 0,01%. Assim, nota-se que também para o Teste Frequentista Condicional, quanto maior o tamanho da amostra, maior a acurácia na tomada de decisão.

Tabela 2 - Resultados da simulação de dados utilizando $\mu_0=3$, $\mu_1=1$, $\sigma^2=1$, $x^*=2$, sendo a média populacional testada igual a 2,3 com 10 simulações para cada tamanho de amostra.

Tamanho da amostra simulada	$\mu_{\text{Simulado}} = 2,3$		
	Média da amostra simulada	Decisão	PEC(%)
10	2,022	A	39,17
	2,318	A	0,16
	1,855	R	5,27
	2,136	A	6,15
	2,524	A	<0,01
	2,273	A	0,42
	2,528	A	<0,01
	2,260	A	0,54
	2,604	A	<0,01
	1,659	R	0,11
30	1,951	R	5,28
	2,097	A	0,28
	2,033	A	11,92
	1,967	R	12,29
	2,017	A	2,88
	2,357	A	<0,01
	2,218	A	<0,01
	2,339	A	<0,01
	2,096	A	<0,01
	2,269	A	<0,01
100	2,285	A	<0,01
	2,434	A	<0,01
	2,214	A	<0,01
	2,250	A	<0,01
	2,344	A	<0,01
	2,260	A	<0,01
	2,528	A	<0,01
	2,208	A	<0,01
	2,402	A	<0,01
	2,187	A	<0,01

Fonte: Própria.

Para a média populacional da distribuição normal simulada com o valor 2,3 (Tabela 2), esperava-se a aceitação da hipótese nula, no entanto, obteve-se 20% de rejeições da hipótese nula para o tamanho amostral 10 e 30. É importante notar que para o tamanho amostral 30, nos casos de rejeição da hipótese nula, as PEC's apresentadas eram superiores a 5%. Para o tamanho amostral 100 o teste possibilitou a correta tomada de decisão de aceitação em todos os casos com PEC inferior a 0,01%.

Após a verificação da eficiência do teste e da rotina formulada no software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012), foi realizada a aplicação aos dados entomológicos. Na aplicação do teste aos dados reais, foi considerada para a hipótese nula a temperatura de 15°C, com tempo médio de vida de 106,32 horas e para a temperatura de 25°C sendo hipótese alternativa, o tempo médio foi de 100,08 horas, e considerou-se o desvio padrão para as duas temperaturas sendo de 55,44 horas segundo dados apresentados por Brighenti e colaboradores (BRIGHENTI; CIRILLO; BRIGHENTI, 2008).

Então, as seguintes hipóteses foram formuladas:

$H_0: \mu_0 = 106,32$ horas (tempo médio de vida de abelhas sob a temperatura de 25°C)

$H_1: \mu_1 = 100,08$ horas (tempo médio de vida de abelhas sob a temperatura de 15°C)

De acordo com a razão de verossimilhanças dada em (2), tem-se:

$$B(x) = \frac{f_0(x)}{f_1(x)} = \frac{e^{-\left\{ \frac{1}{6147,2} \sum_{i=1}^n (x_i - 106,32)^2 \right\}}}{e^{-\left\{ \frac{1}{6147,2} \sum_{i=1}^n (x_i - 100,08)^2 \right\}}}$$

$$B(x) = e^{\{0,00203 \sum x_i - 0,20951n\}} = e^{0,00203 \bar{x}n - 0,20951n}$$

Como há sobreposição entre as distribuições de 15°C e 25°C se sobrepõem (Figura 1), deverá ser estabelecido algum ponto de separação entre as temperaturas, ponto crítico x^* . No caso de testes frequentistas condicionais sob a condição de erros condicionais iguais, para o caso simétrico e variâncias iguais, o valor crítico (x^*) utilizado para o teste será dado por:

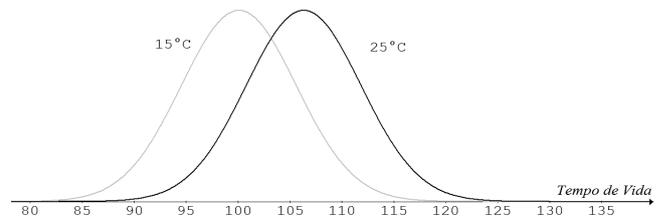
$$\alpha_x = \beta_x$$

$$\frac{B(x)}{1+B(x)} = \frac{1}{1+B(x)}$$

$$\frac{e^{0,00203x^*n-0,20951n}}{1+e^{0,00203x^*n-0,20951n}} = \frac{1}{1+e^{0,00203x^*n-0,20951n}}$$

$$e^{0,00203x^*n-0,20951n} = 1 \Rightarrow x^* = 103,20$$

Figura 1 – Curvas da distribuição normal do tempo médio de vida de operárias de abelhas africanizadas, para as temperaturas de 25°C (preta) e 15°C (cinza), evidenciando a intersecção no ponto $x=103,20$



Fonte: Própria.

O teste frequentista condicional T^* será dado por:

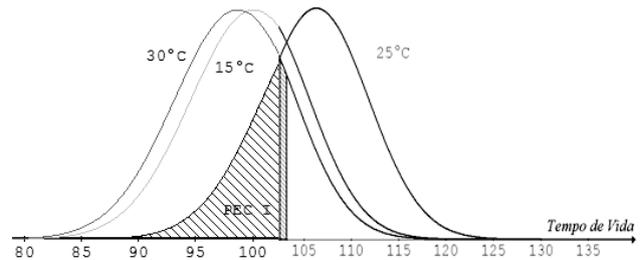
$$T^* = \begin{cases} \text{se } B(x) \leq 1 \text{ ou } \mu_t \leq 103,20, \text{ rejeita-se } H_0 \\ \text{com PEC I } \alpha_x = \frac{e^{0,00203 \bar{x}n - 0,20951n}}{1 + e^{0,00203 \bar{x}n - 0,20951n}} \\ \text{se } B(x) > 1 \text{ ou } \mu_t > 103,20, \text{ aceita-se } H_0 \\ \text{com PEC II } \beta_x = \frac{1}{1 + e^{0,00203 \bar{x}n - 0,20951n}} \end{cases}$$

A análise do tempo médio de vida obtido nos experimentos, de tamanho amostral igual a 100, revelou média igual 128,88 horas, 98,64 horas e 102,72 horas, correspondentes às temperaturas de 20°C, 30°C e 35°C, respectivamente.

No caso do teste frequentista condicional para a temperatura de 20°C, aceita-se H_0 , com PEC II igual a 0,54% de erro, assim, pode-se dizer que não houve diferença entre o tempo médio de vida de abelhas africanizadas mantidas a temperatura de 20°C daquelas mantidas a 15°C. Este resultado está de acordo com o obtido por Brighenti e colaboradores que observaram que o maior tempo para extinção da população foi obtido com a temperatura de 20°C. e que a diferença foi significativa entre a temperatura 20°C e as de 25°C, 30°C e 35°C, sendo considerada igual a de 15°C (BRIGHENTI; CIRILLO; BRIGHENTI, 2008). No entanto, em tal ajuste o erro considerado foi o frequentista tradicional de 5%.

Para as temperaturas observadas de 30°C e 35°C, rejeita-se H_0 com PEC I igual a 28,35% e 47,53% respectivamente, assim, a sobrevivência desses insetos nessas temperaturas, se aproxima mais do tempo de vida dos indivíduos mantidos a 25°C do que daqueles mantidos a 15°C, como era esperado. Para a temperatura de 30°C que obteve menor taxa de erro condicional, em relação a temperatura de 35°C que teve uma alta taxa de erro condicional, houve então evidência que a mesma estava também próxima ao tempo de vida das abelhas mantidas a 15°C, o que é prejudicial para abelhas em clima tropical.

Figura 2 – Curvas da distribuição normal das médias do tempo de vida de operárias de abelhas *A. mellifera*, para as temperaturas de 25°C (preta) e 15°C (cinza), evidenciando a PEC I para a temperatura de 30°C



Fonte: Própria.

É importante ressaltar que no caso do teste frequentista tradicional, se fosse adotado como ponto crítico o valor 103,20, tomaríamos as mesmas decisões, no entanto, o nível de significância do teste, por exemplo, $\alpha = 5\%$, seria o mesmo em todas as tomadas de decisão.

Conclusões

O teste frequentista condicional para tomada de decisão em relação ao parâmetro média da distribuição normal foi eficiente, sendo apresentadas Probabilidades de Erro Condicionais coerentes com os valores simulados, sendo que, nos casos em que ocorreu tomada de decisão incorreta os valores de PEC eram altos.

O tamanho amostral influencia fortemente na redução da probabilidade de erro condicional.

Quanto mais próximo a média testada estiver do ponto crítico, maior foi a Probabilidade de Erro Condicional, independente da decisão tomada.

A utilização do teste frequentista condicional na tomada de decisão para avaliação das temperaturas de manutenção das operárias de abelhas africanizadas foi adequada, sendo que a temperatura de 20°C pode ser também utilizada em experimentos de confinamento com abelhas, normalmente utilizado

com pequena probabilidade de erro (0,54%), pois seu tempo médio de vida foi aceito como semelhante ao de 15°C.

As temperaturas de 30°C e 35°C diminuíram o tempo médio de vida de abelhas africanizadas, conseqüentemente, tais hipóteses apresentaram alta probabilidade de erro condicional, 28,35% e 47,53% respectivamente.

Referências

- BRIGHENTI, C. R. G. *Testes freqüentistas condicionais e testes com interpretação bayesiana e freqüentista condicional*. 2007. 212 p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- BRIGHENTI, C. R. G. ; CHAVES, L. M. . Região de não-decisão em testes com interpretação freqüentista condicional e bayesiana. *Revista Brasileira de Biometria*, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 23-47, 2007.
- BRIGHENTI, C. R. G., CIRILLO, M. A., BRIGHENTI, D. M. Análise longitudinal na determinação do fotoperíodo adequado para criação de abelhas em laboratório. *Revista Brasileira de Biometria*, São Paulo, v.26, p.111-124, 2008.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Ecological Effects Test Guidelines – US EPA-OPPTS 850.3030 Honey Bee Toxicity of Residues on Foliage. 1996.
- GUIMARÃES, C. R.; CIRILLO, M. A.; BRIGHENTI, D. M. Modelos de sobrevivência para avaliação do tempo de vida de operárias de *Apis mellifera* tratadas com diferentes dietas. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 49, 2004, Uberlândia. *Anais...* Uberlândia, p. 123., 2004.
- KIEFER, J. Conditional confidence statements and confidence estimators. *Journal of the American Statistical Association*, Alexandria, v. 72, n. 360, p.789-807, Dec. 1977.
- MOOD, A. M.; GRAYBILL, F. A.; BOES, D. C. *Introduction to the theory of statistics*. 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill International, 1974. 480 p.
- OLIVEIRA, L. A.; BARRETO, M. C. Uma análise no cálculo do tempo médio de vida de abelhas. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 2., 1987, Londrina. *Anais...* Londrina: UEL, 1987. p. 239.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. *R- A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012.
- WINSTON, M. L., CHALMERS, W. T., LEE, P. C. Effects of two pollen substitutes of brood mortality and length of adult life in the honeybee. *Journal Apicultural Research*, 22, p. 49-52, 1983.

Recebido em 2 Abril 2014 – Received on April 2, 2014.
Aceito em 18 Junho, 2014 – Accepted on 18 June, 2014.

