



5º Congresso de Pós-Graduação

ANÁLISE DOS EFEITOS DAS INCERTEZAS NAS VARIÁVEIS DE ESTRESSE EM ENSAIOS ACELERADOS

Autor(es)

MARIA CELIA DE OLIVEIRA PAPA

Co-Autor(es)

ALVARO JOSÉ ABACKERLI

Orientador(es)

ALVARO JOSÉ ABACKERLI

1. Introdução

Uma das importantes tarefas das organizações é a busca pela melhoria da produtividade, confiabilidade e a qualidade de seus produtos. A melhoria da confiabilidade está diretamente relacionada à melhoria contínua da qualidade. Neste contexto, é preciso que a estimativa de tempos de garantia atenda as expectativas dos fabricantes e /ou clientes com relação ao número de produtos que falhem neste período, e ao conhecimento prévio dos tipos prováveis de falha neste período. Uma das formas de obter as informações necessárias para as estimativas deste tempo determinado são os ensaios acelerados. Este ensaio é amplamente utilizado na prática, pois permite obter rapidamente as estimativas de tempos de falhas do produto. Segundo Nelson (2004), nos ensaios acelerados, os tempos de falha do produto são dados em função da carga de estresse utilizada na realização do teste. Tais cargas de estresse, em geral, são consideradas medidas exatas. Porém, sabe-se que na prática experimental isso nem sempre é possível devido a existência das incertezas. Em função disso, neste artigo pretende-se utilizar o método SIMEX para verificação do efeito das incertezas sob os resultados obtidos nos ensaios acelerados.

2. Objetivos

Neste artigo pretende-se utilizar o método SIMEX para verificação do efeito das incertezas sob os resultados obtidos nos ensaios acelerados.

3. Desenvolvimento

Um ensaio acelerado consiste de colocar uma variedade de métodos que intencionalmente diminuem a vida útil de um produto ou, de outro modo, aceleram a sua degradação (Nelson, 2004). O principal interesse na realização deste ensaio é obter os “tempos de falha do produto” mais rapidamente do que se ele fosse colocado em funcionamento sob as condições normais de uso, e dele, a estimativa da sua confiabilidade. O primeiro passo para a realização de um ensaio acelerado é o seu planejamento, que é feito por meio de um plano de teste. Nele, as principais características e os elementos do ensaio acelerado são determinados, tais como, os níveis de estresse, o tamanho e número de amostras, o modo de falha esperado, o tipo de censura, entre outros. Mais detalhes sobre planos de ensaio acelerado pode ser verificado em Nelson (2004). Os modelos de regressão usados para extrapolação dos dados acelerados para as condições normais de uso são denominados modelos de locação e escala. Estes modelos são construídos para o logaritmo do tempo de falha (Aqui vai a Figura 1), ou seja, (Aqui vai a Figura 2). A principal característica destes modelos é que os tempos de falha (Aqui vai a Figura 2) têm distribuição com parâmetro de locação (Aqui vai a Figura 3), que depende da variável de estresse (Aqui vai a Figura 4), e parâmetros de escala (Aqui vai a Figura 5) constantes. A partir destas características, o modelo de regressão do tipo locação e escala assume a forma dada na expressão (1), onde (Aqui vai a Figura 6) é o erro aleatório independente de (Aqui vai a Figura 4) e (Aqui vai a Figura 2). (Aqui vai a Figura 7) (1) Entre as diversas formas assumidas por este modelo de regressão, Papa (2007) utilizou o modelo Potência Inversa - log-normal para a extrapolação dos tempos acelerados de falha dos relés. Este modelo supõe que os tempos de falha são ajustados pela distribuição log normal e a relação estresse-resposta é a de Potência Inversa. 1. O problema do erro de medida Segundo Carroll et al. (2006), para uma análise de regressão com erros de medida dois requisitos são importantes: a especificação da estrutura dos dados e da estrutura dos erros. A estrutura dos dados é definida pelas propriedades dos valores verdadeiros da variável independente (Aqui vai a Figura 8) , (Aqui vai a Figura 9), que não pode ser observada devido a existência dos erros. Tradicionalmente, é feita distinção entre o modelo funcional clássico, em que os valores de (Aqui vai a Figura 8) são tratados como uma seqüência de valores constantes fixados, e o modelo estrutural clássico, em que os valores de (Aqui vai a Figura 8) são tratados como variáveis aleatórias. A especificação da estrutura dos erros nos modelos pode ser classificada em dois tipos, modelos de erro, que incluem o modelo de erro de medição clássico e modelos de calibração, que incluem o modelo de erro de Berkson (Carroll et al., 2006). Neste estudo, os verdadeiros valores das variáveis de estresse que não podem ser observados são considerados constantes, o que equivale dizer que a estrutura dos dados deste estudo é funcional. Com relação à estrutura dos erros, segundo Montenegro (2006), em problemas que utilizam os modelos de locação e escala (equação (1)), em geral, a estrutura do Modelo de Erro é especificada da seguinte forma: (Aqui vai a Figura 10) (2) Na equação (2), (Aqui vai a Figura 11) é o erro de medida. Nela, o valor verdadeiro da variável de estresse (Aqui vai a Figura 12) não pode ser observado diretamente num experimento devido à existência de erros de medida. Por isso, observa-se em seu lugar a variável (Aqui vai a Figura 13). Esta nova variável (Aqui vai a Figura 13) corresponde ao valor verdadeiro de (Aqui vai a Figura 12) adicionado de erros aleatórios, dados pela variável (Aqui vai a Figura 11), estes últimos com média zero e variância (Aqui vai a Figura 14). 2. O método SIMEX Inicialmente, o método SIMEX foi proposto por Cook e Stefanski (1994), aprimorado posteriormente por Stefanski e Cook (1995) e por Carroll et al (2006). Este método, baseado em simulação e extrapolação, é utilizado para estimar e reduzir tendências causadas por erros de medição. Em função disso, o método SIMEX pode ser entendido em dois passos; simulação e extrapolação. No passo de simulação, erros de medida crescentes e proporcionais a (Aqui vai a Figura 15), são adicionados a variável de estresse original, possibilitando verificar a tendência que eles provocam nos valores dos parâmetros, depois de gerada a regressão. Essas variâncias correspondem a (Aqui vai a Figura 16), que somadas aos dados originais geram uma variância total de (Aqui vai a Figura 17) (CARROLL et al., 2006). No passo de extrapolação estes valores estimados para os parâmetros, obtidos em função das incertezas adicionais, são modelados apropriadamente e extrapolados para a situação em que os efeitos dos erros são atenuados (LECHNER e POHLMEIER, 2005).

4. Resultados

Para análise dos efeitos das incertezas, consideraram-se dados de um ensaio acelerado real. Neste ensaio

considerou-se 4 amostras aleatórias com 16 relés cada uma. Os tempos de falha ou censura obtidos estão organizados na Tabela 3. Para indicação de censura utilizou-se (Aqui vai a Figura 18) para dados completos e (Aqui vai a Figura 19) para dados censurados. A coluna da esquerda indica a ordem crescente dos tempos de falhas e as colunas chamadas de “ciclos” mostram os números de ciclos liga/desliga executados por cada relé até ele ser retirado do teste, seja por falha ou por censura. (Aqui vai a Figura 20) A determinação dos valores das cargas de estresse considerou os limites de projeto do relé, além dos cálculos das incertezas das resistências equivalentes (Aqui vai a Figura 21) com base no INMETRO (2003), o que resultou na definição experimental final dos valores de 6.12A, 9.25A, 11.6A e 15.27A para a variável de estresse, conforme mostrado na Tabela 2. (Aqui vai a Figura 22) A análise dos resultados considerou os dados da Tabela 1 e as incertezas da Tabela 2. Foram obtidas estimativas de tempos de falha para a situação em que a incerteza não é considerada na análise (Análise Convencional) e para a situação que considera a incerteza (Análise SIMEX). Os resultados obtidos a condição usual de 5A e seus respectivos intervalos de 95% de confiança são mostrados na Tabela 6. (Aqui vai a Figura 23) Verifica-se que os efeitos das incertezas nas estimativas dos tempos de falha correspondem a apenas 0.2% para B10, 0.1% para B50 e 0.1 para o MTTF, respectivamente. Pode-se dizer ainda, que a análise convencional apresenta melhor resultado que a análise SIMEX devido ao seu menor desvio padrão. Porém, analisando conjuntamente os efeitos das incertezas sobre o intervalo de confiança Tabela 6 verifica-se a necessidade de cuidados na análise dos resultados e das estimativas obtidas.

5. Considerações Finais

O estudo para verificar o efeito das incertezas na variável de estresse em ensaios acelerados utilizando um conjunto de dados reais de relés eletromagnéticos utilizou o modelo de regressão Potência Inversa-log-normal e o método SIMEX. Os resultados indicam que, para as cargas de estresse com incertezas acima de 4% do seu valor nominal, os seus efeitos das incertezas nas estimativas de falha foram importantes, principalmente sobre os limites inferiores e superiores de intervalo de confiança de 95%. Conseqüentemente, nestes casos, conclui-se que as incertezas influenciam os tempos de falha e a garantia do produto ensaiado sob estas condições. Observa-se que a análise SIMEX proporcionou limites inferiores de 95% de confiança cerca de 30% menores que os obtidos na análise convencional. Desta forma, considerando casos em que a vida típica do relé é dada pelo limite inferior do intervalo de 95% de confiança, pode-se dizer que as influências na definição das cargas de estresse podem ser importantes mesmo para incertezas menores que 4%.

Referências Bibliográficas

- ABACKERLI, A.; SASSERON, P. L.; DEMOLIN, F. L. A Test JIG for Relay's Accelerated Testing. In **5th International Conference on Mechanics and Materials in Design**, Porto, Jul. 2006.
- CARROLL, J. R. et al. **Measurement Error in Nonlinear Models: A Modern Perspective**. New York: Chapman & Hall, Monographs on statistics and Applied Probability 63, Second Edition, 2006, 456 p.
- COOK, J.; STEFANSKI, L. A. A Simulation Extrapolation Method in Parametric Measurement Error Models. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 98, n. 428, p. 1314-1328, Dec.1994.
- INMETRO. **Guia para a Expressão da Incerteza da Medição**, Terceira Edição Brasileira em Língua Portuguesa – Rio de Janeiro, 2003, 120 p.
- LECHNER, S.; POHLMEIER, W. Data Masking by Noise Addition and the Estimation of Nonparametric Regression Models, **Jahrbucher Fur Nationalokonomie and Statistik, Stuttgart**, v. 5, n. 225, p. 517-528, Sep. 2005.

MONTENEGRO, L. C. C. **Modelo de Efeito Aleatório e Erros de Medida**. 2006. 196 f. Tese - Curso de Ciências, Departamento de Instituto de Matemática e Estatística, USP, São Paulo, 2006.

NELSON, W. **Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans and Data Analysis**. Second Edition, New Jersey: John Wiley and Sons, 2004. 601p.

PAPA, M. C. O. **Análise do Efeito das Incertezas nas Variáveis de Estresse em Ensaios Acelerados**, Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba - Unimep, Santa Bárbara DOeste, 2007.

SASSERON, P. L. **Estudo Experimental de Ensaio Acelerado Aplicado a Relés**, 2005, 104p, Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba - Unimep, Santa Bárbara DOeste, 2005.

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq.

Anexos

Figura 1

$$T$$

Figura 2

$$Y = \log(T)$$

Figura 3

$$\mu(x)$$

Figura 4

$$x$$

Figura 5

$$\sigma > 0$$

Figura 6

$$\varepsilon$$

Figura 7

$$Y = \mu(x) + \sigma\varepsilon$$

Figura 8

$$X_i$$

Figura 9

$$i = 1 \dots n$$

Figura 10

$$W = X + U$$

Figura 11

$$U$$

Figura 12

$$X$$

Figura 13

$$W$$

Figura 14

$$\sigma_x^2$$

Figura 15

$$(1 + \lambda)\sigma_x^2, \lambda \geq 0$$

Figura 16

$$\lambda_m \sigma_x^2$$

Figura 17

$$\sigma_x^2 + \lambda_m \sigma_x^2 = (1 + \lambda_m)\sigma_x^2$$

Figura 18

$$\delta = 1$$

Figura 19

$$\delta = 0$$

Figura 20

Tabela 1:

n	6.12 A		9.25 A	
	Ciclos	δ	Ciclos	
1	480406	1	73352	
2	551402	1	98033	
3	813123	1	236320	
4	1868621	0	264699	
5	1868621	0	420441	
6	1868621	0	455503	
7	1868621	0	495202	
8	1868621	0	550119	
9	1868621	0	733991	
10	1868621	0	894067	
11	1868621	0	953393	
12	1868621	0	1793409	
13	1868621	0	1817479	
14	1868621	0	1882756	
15	1868621	0	2064540	
16	1868621	0	3309823	

Fonte: Sasseron (2005)

Figura 21

$$R_{eq}$$

Figura 22

Tabela 2: Definição e:

Estresse nominal**	R_{eq}^*	$u_x(R_{eq}^*)$
6	3.922	0.01
9	2.600	0.01
12	2.073	0.01
15	1.572	0.00

Nota: * Valores em Ohm

Fonte: Abackerli et al (2006)

Figura 23

Tabela 3: Estimativas dos tempos de

Estimativas de tempo de falha

B_{10}
Limite inferior

Limite superior

B_{50}
Limite inferior

Limite superior

MTTF
Limite inferior