

# QUESTÕES EXPERIMENTAIS DO ENSAIO ACELERADO COM ESTRESSE NA TEMPERATURA DE RELÉS

## **Maira M. Camargo**

Núcleo de Gestão da Qualidade e Metrologia, FEAU, UNIMEP; Rod. SP 306, km 1 - 13450-000 - Sta. Bárbara D'Oeste – SP; e-mail: mmcamarga@unimep.br

## **Alvaro J. Abackerli**

Núcleo de Gestão da Qualidade e Metrologia, FEAU, UNIMEP; Rod. SP 306, km 1, 13450-000 - Sta. Bárbara D'Oeste – SP; e-mail: abakerli@unimep.br

**Resumo.** *Ensaio Acelerado (Accelerated life tests – ALTs) são frequentemente usados como uma ferramenta na garantia da confiabilidade de produtos. Seus resultados são úteis no projeto, na manufatura, no marketing e em outras áreas importantes de negócios. Os ensaios acelerados são arranjos experimentais usados para acelerar a ocorrência de falhas em ambientes controlados. Entretanto, a exatidão dos resultados destes ensaios demanda um planejamento experimental cuidadoso que envolve a seleção dos níveis de estresse, do tipo de censura, das amostras, e da configuração de todas as condições experimentais dos testes. As condições experimentais frequentemente incluem incertezas, similares às verificadas no controle da qualidade dos processos de manufatura, podendo por isso ser analisadas segundo normas já disponíveis. Neste trabalho discute-se o planejamento de um ensaio acelerado de relés com estresse na temperatura, enfatizando-se os controles experimentais e a análise das incertezas presentes na definição experimental. Os resultados mostram as incertezas com mais um fator de influência adicional nos ensaios acelerados, dependendo dos valores encontrados de incerteza em cada arranjo experimental.*

**Palavras-chave:** *confiabilidade – incerteza de medição - ensaio acelerado, relé.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A confiabilidade dos produtos é questionada pelos consumidores, fazendo com que as empresas se importem mais com os estudos sobre o assunto, pois alguns produtos apresentam problemas de desempenho durante o prazo de garantia. Quando isso acontece se faz necessária uma avaliação da vida útil do produto considerando aspectos relacionados ao processo de projeto, fabricação, marketing, serviço de assistência técnica, até outras áreas/setores de uma empresa <sup>(1)</sup>.

Segundo Dias <sup>(2)</sup>, a confiabilidade é um atributo que acompanha o produto em todo seu ciclo de vida, sendo definida durante a fase de projeto e particular para cada tipo de produto. A confiabilidade pode ser definida como a probabilidade de um sistema (componentes, aparelhos, etc.) desempenhar sem falhas uma missão de duração determinada. Entende-se por falha a diminuição parcial ou total de sua capacidade ou do desempenho de um componente, equipamento ou sistema.

Segundo Pizzolato <sup>(3)</sup>, a confiabilidade define o prazo de garantia de um produto pela estimação de sua taxa de falha e vida útil esperada. Esta estimação pode ser realizada por meio de testes acelerados de vida, que consistem nas alterações das condições de uso durante os ensaios para apressar o aparecimento das falhas. Essas falhas são alcançadas usando sobrecargas, chamadas de estresse. Estes

ensaios determinam parâmetros característicos da vida do produto, que podem ser utilizados para caracterizar a perda de desempenho ou a falha do mesmo e pode ser utilizado nos setores/atividades mencionados acima.

Dos ensaios acelerados se obtêm medidas para determinar a liberação de um projeto; por exemplo, a estimação dos custos de garantia e serviços pós-vendas, as taxas de falha, o tempo médio até a falha (MTTF), etc. Ele também possibilita monitorar a confiabilidade do produto para executar as ações corretivas necessárias e assegurar a garantia da qualidade oferecida aos consumidores.

A validação destes testes demanda planejamento e monitoração pois sem eles pode-se perder os resultados, razão pela qual o procedimento de coleta de dados deve ser verificado segundo um roteiro planejado. Esse planejamento consiste na definição das condições de testes segundo as especificações do produto testado.

Mesmo com o planejamento os testes estão sujeitos a variações. Sabe-se que todo experimento possui uma variação inevitável que lhe é natural, não se conseguindo manter uma variável de estresse num valor absolutamente constante em todo processo. A consideração das variações na realização de testes permite avaliar as condições experimentais e calcular as incertezas existentes para verificar o quanto essas variações interferem nos resultados do mesmo.

Este artigo discute o planejamento dos ensaios acelerados e a verificação das condições experimentais, visando o estudo dos requisitos dos ensaios acelerados relativos ao planejamento dos testes e as incertezas de medição.

## 2. BANCO DE ENSAIOS

As características dos testes foram determinadas em função das condições nominais de uso do componente testado. O componente é um relé eletromagnético marca OMRON, tipo NA (*normally opened*), modelo G7T-1112S, usado no comando de máquinas e equipamentos industriais. Sua aplicação vai desde os painéis clássicos de controle até as mais modernas interfaces entre os microprocessadores, contidos nos controladores lógicos programáveis (CLP), controles numéricos computadorizados (CNC), além de circuitos de potência. Suas principais características técnicas são mostradas na Tabela 1:

Tabela 1: Características do relé Eletromagnético

| CARACTERÍSTICAS                               |                        |
|-----------------------------------------------|------------------------|
| Tensão nominal                                | 24 V                   |
| Corrente nominal da bobina                    | 21 mA                  |
| Consumo por relé                              | 0,5 W                  |
| Corrente de carga nominal (resistiva)         | 5 A                    |
| Corrente de carga nominal (indutiva)          | 2 A                    |
| Temperatura máxima de operação                | 55° C                  |
| Expectativa mínima de vida (B <sub>50</sub> ) | 10 <sup>6</sup> ciclos |
| Tempo mínimo de chaveamento                   | 30 ms                  |
| Tempo entre operações                         | 2 s                    |

Fonte: OMRON <sup>(4)</sup>.

Os ensaios acelerados foram executados em um banco de testes especialmente construído para simular o uso de forma acelerada do produto no campo <sup>(5)</sup>. O banco consiste de duas partes, a primeira que contém a câmara onde se encontram os componentes necessários para a realização dos testes e a segunda que consiste de dois computadores com controladores específicos que comandam, controlam, registram e armazenam as informações geradas durante os testes.

A câmara dos componentes é dividida em duas partes (Figura 1); um primeiro compartimento que é revestido com lã cerâmica onde são encontrados os relés (1), sensores (2) para monitoração individual de temperatura, o aquecedor (3) que mantém a temperatura ambiente constante e um sensor monitorando o valor da temperatura. Na parte inferior da câmara, é localizada a fonte de alimentação de tensão (4), um relé de estado sólido (5) que controla o aquecedor da câmara superior, os módulos do CLP (Controlador Lógico Programável) (6) e as resistências de carga que se situam na parte traseira da câmara.

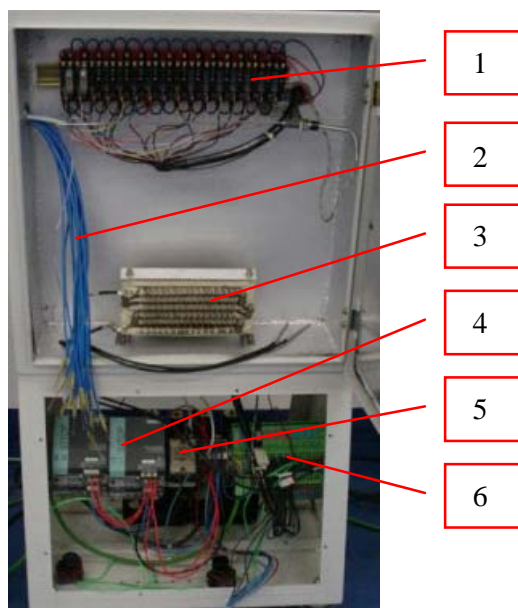


Figura 1: Câmara superior e inferior do banco de ensaios.

Nos testes é avaliada a vida dos relés sobre condições de estresse em temperatura, definindo-se para isso o uso da corrente e da tensão constante, nominalmente igual aos valores de 24 V e 5 A <sup>(4)</sup>. Os relés são submetidos a ciclos de liga-desliga até o aparecimento da falha – aberto/fechado – registrada pelos computadores. Mediante a falha de um relé são registrados o tipo de falha e o número de ciclos executados, seguindo-se a interrupção dos testes para eventual retirada do componente.

### 3. PLANEJAMENTO DE ENSAIOS ACELERADOS

Os cuidados que devem ser tomados no planejamento dos testes são definidos em função de seu objetivo, estabelecido antes de realizá-lo, de forma a maximizar os resultados que poderão ser obtidos. Para Tang <sup>(4)</sup>, o planejamento tem como objetivo obter as melhores estimativas de tempo de falha dos componentes testados. Na realização de um teste de vida acelerado a especificação adequada de alguns elementos determinarão o sucesso do experimento, os quais podem ser divididos em dois grupos: forma de teste e plano experimental <sup>(1)</sup>.

A determinação do plano experimental é feita em função da precisão desejada para os resultados dos testes. Existem três planos experimentais, dentre os quais foi adotado o plano de compromisso no

qual, o número de níveis de estresse é fixo e igual a três, e a proporção de alocação dos componentes/amostras que é de 4:2:1 respectivamente para os níveis baixo, intermediário e alto. Esta decisão se justifica pelo fato dos níveis mais baixos possuírem menor probabilidade de ocorrência de falha <sup>(1)</sup>.

Devido às restrições físicas do banco de ensaios disponível é possível testar no máximo 16 relés, resultando numa proporção de 16 no nível mais baixo de estresse, 8 no nível intermediário e 4 no nível mais alto. Os valores para os níveis de temperatura são determinados em função das condições máximas de operação de todos os componentes existentes na câmara superior do banco de testes, que resulta na temperatura de 55°C para o nível mais baixo, 60°C para o nível intermediário e 70°C para o nível alto.

Com o planejamento acima se define portanto um experimento com três níveis constantes de estresse que são monitorados continuamente durante os ensaios acelerados. Com eles busca-se estabelecer experimentalmente a relação entre a carga de estresse usada e a distribuição de falhas observadas nos relés, para então relaciona-la com a sua vida (confiabilidade) nas condições normais de uso. Essa premissa experimental assume todas as demais condições de teste constante, incluindo a corrente de carga aplicada aos relés, sendo sobre esta corrente de carga que se investiga a incerteza conforme discutido nos itens a seguir.

#### 4. INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Mesmo com o planejamento acima os testes estão sujeitos a erros experimentais, sendo um deles a incerteza de medição. O objetivo do cálculo da incerteza de medição é determinar um valor numérico para o limite de um intervalo dentro do qual se tenha confiança de que o valor verdadeiro do mensurando esteja contido <sup>(7)</sup>. Para o cálculo da incerteza combinada padrão  $u_c$  é necessário que conheça os processos de medições e os seus fatores de influência. Considerando que os fatores de influência são independentes, a covariância existente entre eles é nula e a equação de cálculo da incerteza padrão é simplificada conforme visto na Equação (1).

$$u_c^2(Q) = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial Q(\vec{X})}{\partial X_i} \right]^2 u^2(X_i) \quad (1)$$

Os valores utilizados nos cálculos para a tensão e corrente são os nominais já adotados, necessitando-se qual o valor da resistência utilizada para manter a corrente de carga dos relés num valor aproximadamente constante. Dados os valores da corrente e tensão se obtêm um valor aproximado da resistência necessária, pela Equação de Ohm (2). Este valor é a base para a definição da associação necessária de resistores que gere uma resistência equivalente  $R_{eq}$ .

$$I = \frac{U}{R} \rightarrow R = \frac{U}{I} \rightarrow R = \frac{24 \text{ V}}{5 \text{ A}} = 4,8 \Omega \quad (2)$$

Para a avaliação dos valores das resistências foi utilizado um método onde se submete o componente a uma tensão nominalmente constante e igual de 24 V e com um multímetro se mede a corrente, calculando-se os valores das resistências e propagando-se as incertezas no procedimento. Na Tabela 2 podem ser vistos os resultados dos cálculos para 17 resistências, algumas das quais usadas para a montagem do resistor equivalente  $R_{eq}$  no banco de testes.

Tabela 2: Resultados dos Cálculos das Resistências

| N° Resist. | Valor Encontrado | Incerteza de R |
|------------|------------------|----------------|
|            | R (Ω)            | (Ω)            |
| 1          | 6,5068           | 0,0376         |
| 2          | 6,2593           | 0,0358         |
| 3          | 6,2467           | 0,0356         |
| 4          | 6,1395           | 0,0347         |
| 5          | 6,0417           | 0,0343         |
| 6          | 5,8039           | 0,0320         |
| 7          | 6,1473           | 0,0347         |
| 8          | 5,9148           | 0,0329         |
| 9          | 2,0579           | 0,0094         |
| 10         | 2,1029           | 0,0104         |
| 11         | 2,1903           | 0,0109         |
| 12         | 2,0993           | 0,0103         |
| 13         | 2,1756           | 0,0108         |
| 14         | 2,1698           | 0,0108         |
| 15         | 2,1741           | 0,0108         |
| 16         | 2,0878           | 0,0103         |
| 17         | 2,1636           | 0,0108         |

A partir das resistências mostradas na Tabela 2 determinou-se uma seqüência com as de número 1, 3, 4 e 11, determinando com eles o resistor equivalente pela associação paralelo-série mostrada na Figura 2.

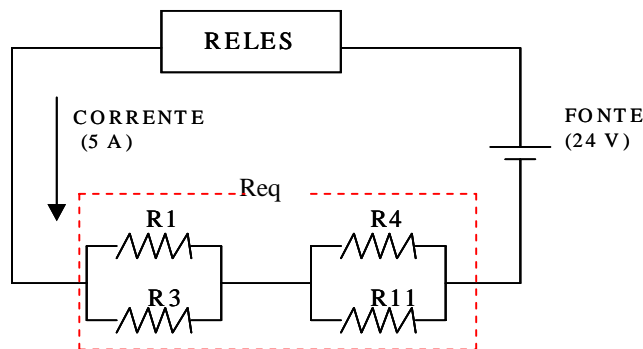


Figura 2 : Esquema das resistências utilizadas no banco de ensaios.

Esta seqüência de resistências gerou a Equação (3) que resultou num valor próximo de  $4,8\Omega$  e, pela a Equação (4), confirmou que corrente de carga resultante é próxima de 5A, conforme definida na Tabela 1.

$$I = \frac{U}{R_{eq}} = \frac{24}{4,8014} = 4,9985 \cong 5A \tag{3}$$

$$R_{eq} = \left( \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \right) + \left( \frac{R_4 R_{11}}{R_4 + R_{11}} \right) = 4,8014 \Omega \quad (4)$$

Com tais resultados tomou-se a expressão da resistência equivalente, Equação (3), para analisar a incerteza de medição conforme a Equação (1), gerando o resultado dado na Equação (5).

$$u_{R_{eq}}^2 = \left( \frac{\partial R_{eq}}{\partial R_1} u_{R1} \right)^2 + \left( \frac{\partial R_{eq}}{\partial R_3} u_{R3} \right)^2 + \left( \frac{\partial R_{eq}}{\partial R_4} u_{R4} \right)^2 + \left( \frac{\partial R_{eq}}{\partial R_{11}} u_{R11} \right)^2 = 0,0144 \Omega \quad (5)$$

A fonte de tensão utilizada possui uma saída constante de 24 V com uma variação de 1% do valor nominal. Adotando uma distribuição Normal para a variação da tensão com confiança de 95% pode-se determinar uma variação de 0,24 V e o valor da incerteza combinada da fonte conforme mostra a Equação (6).

$$u_U = \frac{0,24}{2} = 0,12V \quad (5)$$

Finalmente, com a equação geral de incerteza, Equação (1), é possível chegar à Equação (7), com a qual se determina a incerteza da corrente de carga.

$$u_I^2 = \left( \frac{\partial I}{\partial U} u_U \right)^2 + \left( \frac{\partial I}{\partial R_{eq}} u_{R_{eq}} \right)^2 \Rightarrow u_I = 0,0291 \text{ A} \quad (7)$$

Seu cálculo, feito com os valores das incertezas da fonte e da resistência equivalente, resulta numa incerteza expandida de 0,0291 A que corresponde a indeterminação do valor experimental da variável supostamente constante no ensaio acelerado acima discutido.

## 5. CONCLUSÃO

Do acima discutido, destaca-se que os testes de vida acelerados estimam figuras de méritos relacionados à confiabilidade do produto nas condições de projeto e fabricação, e seu planejamento garante a validade e a precisão dos resultados obtidos por meio do experimento. Considerando que a confiabilidade é incorporada no produto durante o processo de fabricação, enfatiza-se sua importância para que os fatores que atuam no processo sejam analisados da melhor maneira possível.

O banco de ensaios implementado proporciona boas condições experimentais, que geram incertezas relativamente pequenas na definição da corrente de carga. Isso permite considerá-la constante nos ensaios, conforme previsto, já que a variável de estresse nesse caso é a temperatura. Se não o fosse, haveria a necessidade de um experimento mais elaborado, com duas variáveis, implicando necessariamente em maior controle experimental e no conseqüente maior investimento.

Aceito o fato das incertezas de medições existentes nos processos serem inevitáveis, mesmo que pequenas, como neste caso, o seu estudo permite avaliar o quanto elas influenciam nos resultados finais dos ensaios e disso selecionar abordagens experimentais, métodos e técnicas adequadas para o processo, possibilitando, por exemplo, corrigir as estimativas de vida obtidas por meio de ensaios acelerados, com base nas incertezas presentes no experimento <sup>(7)</sup>.

## 6. REFERÊNCIAS

1. FREITAS, M.F.; COLOSIMO, E.A., **Confiabilidade: Análise de Tempo de Falha e Testes de Vida Acelerados**. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1997. (Série Ferramentas da Qualidade, vol. 12).
2. DIAS, A. **O ciclo de vida do produto e o processo de projeto**. Disponível em: <<http://www.ietec.com.br/ietec/techoje/techoje/meioambiente>>. Acesso em: 30 ago. 2006.
3. PIZZOLATO, M.; TEN CATEN, C.S.; FOGLIATTO, F.S. **Definição do prazo de garantia de um produto otimizado experimentalmente**. Gestão e Produção, São Carlos, v. 12, n. 2, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 30 Ago 2006.
4. OMRON Corporation, **Relay User's Guide**, Kyoto, Japan, 1990.
5. SASSERON, P.L. **Estudo experimental do ensaio acelerado de vida de relés com estresse de corrente**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP/UNIMEP. Santa Bárbara d'Oeste – SP. Março 2005.
6. TANG, L.C.; TAN, A.P.; ONG, Soon Huat. Planning accelerated life tests with three constant stress levels. **Computers & Industrial Engineering**, Singapura, p.439-446, 2002.
7. **ISO GUM Guide to the expression of uncertainty in measurement**. ISO GUM, 1-96. 1995. Switzerland, International Organization for Standardization - ISO.
8. ABACKERLI, A.J.; PAPA, M.C.O.. The data Analysis of Accelerated Life Tests. In: International Conference on Mechanics and Materials in Design, Portugal. **Anais do 5th International Conference on Mechanics and Materials in Design**. Porto: J F Silva Gomes And Shaker A Meguid, 2006.

## EXPERIMENTAL ISSUES ON RELAYS' ACCELERATED LIFE TESTS UNDER TEMPERATURA STRESS

### Maira M. Camargo

Núcleo de Gestão da Qualidade e Metrologia, FEAU, UNIMEP; Rod. SP 306, km 1 - 13450-000 - Sta. Bárbara D'Oeste – SP; e-mail: mmcamarga@unimep.br

### Alvaro J. Abackerli

Núcleo de Gestão da Qualidade e Metrologia, FEAU, UNIMEP; Rod. SP 306, km 1, 13450-000 - Sta. Bárbara D'Oeste – SP; e-mail: abakerli@unimep.br

**Abstract.** *Accelerated life tests (ALT) are often used by companies as a tool to guarantee product's reliability. Their results are useful in design, manufacturing, marketing and other important business area. ALT are experimental arrangement used to speed up the occurrence of failures under controlled environments. However, the accuracy of ALT results demands careful experimental planning that essentially involves the selection of stress levels, the definition of censorship criteria, samples, and the set up of all experimental conditions. The later often includes experimental uncertainties which are similar to those observed in the quality control of manufacturing processes, allowing therefore further analysis using the available standards. In this paper we discuss the experimental planning of an ALT designed for testing relays under temperatures stress, focusing on the experimental controls and on the analysis of experimental uncertainties. Results show the uncertainties as an additional influence factor of accelerated life tests, depending upon the uncertainty values observed in each experimental arrangement.*

**Key-words.** *reliability; measurement uncertain; accelerated life test; relay.*