

Uso do ensaio acelerado na determinação experimental da confiabilidade de relés.

Pedro Luiz Sasseron (ROMI) psasseron@romi.com.br
Alvaro José Abackerli (UNIMEP) abakerli@unimep.br

Resumo

O tempo de vida dos componentes utilizados em máquinas e equipamentos é um dado importante no desenvolvimento de novos produtos, que os fabricantes têm que lançar no mercado com tecnologia mais avançada e em tempo cada vez mais curto, com o compromisso de melhoria da confiabilidade. Entretanto, as fontes convencionais desta informação, que são os dados do fabricante, as observações de campo e os dados experimentais, podem não estar disponíveis, não serem suficientes ou serem demoradas para se obter. A aceleração dos ensaios de vida é uma maneira de se obter medidas da expectativa de vida dos componentes de maneira mais rápida e mais econômica. Relés são componentes eletromagnéticos utilizados para ligar e desligar cargas em uma grande variedade de máquinas e equipamentos. Este trabalho apresenta um estudo experimental projetado para determinar o tempo até a falha de um tipo de relé, através do controle da tensão, da temperatura e com a corrente elétrica sendo utilizada como variável de estresse. É feita uma análise comparativa entre os dados obtidos nos ensaios e os dados fornecidos pelo fabricante em seu catálogo, onde se verificam dados experimentais de vida significativamente superiores aos encontrados nos catálogos do fabricante. Isso denota uma grande margem de segurança na informação fornecida pelo fabricante e a clara necessidade do conhecimento mais profundo sobre a vida útil de componentes usados em novos projetos.

Palavras chave: Ensaio Acelerado; Confiabilidade; Relés.

1. Introdução

O tempo de vida dos componentes utilizados em máquinas e equipamentos é um dado importante no desenvolvimento de produtos. Os fabricantes enfrentam o desafio de lançar novos produtos com tecnologia mais avançada e em tempo recorde, com o compromisso de melhoria da produtividade e da confiabilidade em campo que, em última instância, implica em melhoria da qualidade.

A determinação criteriosa do prazo de garantia dos equipamentos pode evitar grandes despesas durante o período em que a manutenção é de responsabilidade do fabricante. O simples envio de um assistente técnico para diagnosticar e corrigir um defeito em uma máquina pode ter custo elevado de transporte, hospedagem, etc., além da insatisfação do cliente em ter sua máquina parada interrompendo a produção.

O fornecimento de dados de vida dos componentes ao cliente possibilita que ele elabore um bom plano de manutenção preventiva e permite o provisionamento de peças de reposição a tempo de substituir os componentes sujeitos a falha. Apesar de não representar despesa para o fabricante do equipamento, a interrupção inesperada do funcionamento fora do período de garantia pode comprometer a sua imagem e a satisfação do cliente (HEALY, 2002).

Entretanto, a seleção dos componentes adequados, que possam atender às necessidades de confiabilidade e de custo do equipamento, desenvolvidos dentro de prazos quase sempre reduzidos, se mostra como uma das mais importantes aplicações dos ensaios acelerados de vida que ocorre durante as fases de desenvolvimento do produto na indústria.

As informações sobre o desempenho dos componentes originam-se basicamente de três fontes: do fabricante, dos dados de campo e de dados experimentais. Os dados do fabricante nem sempre estão disponíveis e, quando encontrados nos catálogos, raramente estão nas condições de operação necessárias ao desenvolvimento pretendido. Os dados de campo são obtidos observando-se os equipamentos em condições reais de uso, tendo porém um retorno demorado devido ao tempo necessário para sua coleta, organização e análise, particularmente em bons produtos. Para a obtenção dos dados mais rapidamente e nas condições desejadas ao projeto a coleta de dados experimentais torna-se necessária. Como os testes realizados sob as condições normais de uso são muito demorados e caros, uma forma utilizada para obter informações de maneira mais rápida é a realização de ensaios acelerados de vida.

Este trabalho apresenta a técnica de ensaio acelerado de vida e mostra um estudo de caso aplicado a relés, com aplicação de estresse constante de corrente elétrica. Os testes foram feitos em um laboratório de indústria, em um banco experimental preparado para fornecer as condições de temperatura, voltagem e corrente elétrica, controladas de acordo com os parâmetros definidos para o ensaio.

2. O ensaio acelerado

A aceleração dos ensaios de vida é conseguida com a alteração das condições de realização dos testes, apressando, assim, o aparecimento das falhas. A utilização de técnicas adequadas de análise dos dados permite tirar conclusões sobre a vida esperada do componente em condições normais de uso.

Nos itens seguintes as classes e os tipos de ensaio acelerado são analisados, além de ser discutida a aplicação de carga de aceleração, as distribuições de dados comumente encontradas e os modelos utilizados para transposição dos dados da condição acelerada para a condição normal de uso.

2.1 Classes e tipos de ensaio acelerado

Os ensaios acelerados se dividem inicialmente em duas classes, os ensaios qualitativos e os quantitativos. Os ensaios qualitativos se caracterizam como aqueles que produzem somente informações de falhas ou modos de falha. São testes do tipo “passa/não passa” ou “aprovado/reprovado”, enquanto os quantitativos são aqueles designados para quantificar as características de vida do produto, sob condições normais de uso, incluindo a determinação da probabilidade de falha do produto nessas condições (RELIASOFT CORPORATION, 2001).

A classe dos ensaios qualitativos fornece um resultado que informa se o material atingiu ou não um desempenho pré-determinado ou vida pré-estabelecida. Dentro dos testes qualitativos são encontrados inúmeros tipos ensaios, cada qual com nomes específicos que variam de acordo com o objetivo, como é o caso do *Burn-In*, do Teste Limite, do Experimento de Projeto Robusto, do *Environmental Stress Screening* e do Teste de Vida Altamente Acelerado.

Já a classe dos ensaios quantitativos fornece um resultado que mede o desempenho do material, expresso em termos de vida, ou seja, quanto ele durou até falhar. Eles variam de acordo com o tipo de aceleração que é imposta ao componente sob teste, descritos a seguir.

O tipo mais simples de ensaio acelerado quantitativo é o de aceleração pelo uso contínuo, também chamado de aceleração pela taxa de uso. Ele consiste em submeter um equipamento que normalmente trabalha algumas horas por dia a um regime contínuo de funcionamento. Este tipo tem aplicação típica para produtos de uso doméstico ou para alguns produtos industriais em que a taxa de utilização é baixa.

Já os ensaios qualitativos onde a aceleração se dá através do aumento do nível de carga ou estresse da variável de interesse podem ser divididos em dois tipos: Ensaio de Degradação Acelerado e Ensaio de Vida Acelerado. O objetivo do primeiro é estudar a degradação de um parâmetro ao longo do tempo e utilizar esta informação para estimar o tempo de vida, enquanto que a resposta de interesse do segundo é o tempo ou número de operações até a ocorrência da falha, ou seja, a vida. O Ensaio de Vida Acelerado é o tipo de interesse para este trabalho.

2.2 A aplicação de carga ou estresse

Independente da forma com que a carga é aplicada para gerar o estresse, um primeiro fator importante a ser analisado é o nível de carga ou estresse aplicado sobre os materiais em teste. Em princípio, em testes de vida acelerados, os níveis de estresse devem ser escolhidos de maneira a acelerar o aparecimento de falhas, sem introduzir modos de falha que nunca apareceriam sob condições normais de uso.

Normalmente, estes níveis devem ficar além dos limites de especificação indicados pelo fabricante, porém, dentro dos limites de projeto (RELIASOFT CORPORATION, 2001). Os limites de projeto dependem dos materiais e das tecnologias usadas na fabricação, razão pela qual, para sua determinação, é necessário um conhecimento técnico aprofundado a respeito do componente testado. Acima destes limites, os ensaios entrariam em um nível destrutivo e os dados resultantes não teriam consistência para uso em uma análise de vida.

Outro fator diz respeito à forma de aplicação de carga de estresse num ensaio acelerado. Ela tem papel fundamental nos resultados obtidos nos testes e pode ser feita de várias maneiras, como descrito por Nelson (1990) e Vassiliou e Mettas (2002). As formas de aplicação de carga constante, escada, progressiva, cíclica e aleatória, caracterizam as principais maneiras pelas quais o estresse é aplicado durante o ensaio (FREITAS E COLOSIMO, 1997). A variação do estresse, em cada caso, interfere também na complexidade da execução do ensaio, à medida que exige equipamentos de controle mais sofisticados, além da análise dos dados mais complexa. Obviamente, a escolha da forma adequada de aplicação de estresse é importante para que a vida normal do produto seja reproduzida o mais fielmente possível a partir dos ensaios.

Dentre as formas de aplicação de carga, a constante foi escolhida para este trabalho, por representar convenientemente a realidade dos relés no campo, além de trazer a simplicidade desejada para o seu controle na bancada de ensaios. Na aplicação de carga constante, cada lote de amostras fica submetido a um mesmo nível de carregamento (estresse) até o final do ensaio. Para que possa ser aplicada uma modelagem de transposição nos dados obtidos, são necessários pelo menos dois lotes de amostras, com a fixação de níveis de carga diferentes para cada um.

É importante ressaltar que os tempos de vida de um componente variam de um elemento para outro dentro de um lote de amostras, podendo ser representados por uma distribuição de probabilidades conhecida. No próximo item, são estudadas as distribuições mais utilizadas para representar dados de ensaios acelerados com estresse constante.

2.3 Distribuições estatísticas de dados

Os dados obtidos através de ensaios acelerados podem se enquadrar em diferentes distribuições de probabilidades, dependendo do tipo do componente sob teste, do modo de falha estudado, da variável de estresse e do nível de estresse aplicado. Embora exista uma série de modelos probabilísticos utilizados em análise de dados de confiabilidade, alguns deles ocupam uma posição de destaque por sua comprovada adequação a várias situações práticas. Entre estes, pode-se citar o Exponencial, o de Weibull e o Log-Normal (FREITAS E COLÓSIMO, 1997).

O interesse especial deste trabalho é pela distribuição Log-Normal, que é largamente usada para análise de dados de vida, incluindo mecanismos de falha por fadiga de metais e componentes semicondutores. Ela é aplicada na modelagem de mecanismos de falha que envolvem interações químicas, como as encontradas em processos de corrosão, acúmulo superficial de cargas elétricas e degradação de contatos, conforme relatado por alguns autores (NELSON, 1990; FREITAS E COLÓSIMO, 1997). A função densidade de probabilidade da distribuição Log-Normal é dada pela equação 1:

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot \sigma' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t' - \mu'}{\sigma'} \right)^2} \quad (1)$$

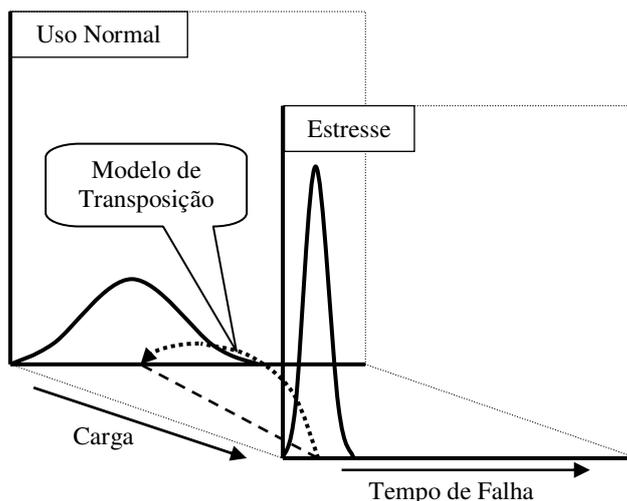
Na equação, t é o tempo até a falha, t' é o logaritmo natural de t , μ' é a média do logaritmo natural de t e σ' é o desvio-padrão do logaritmo natural de t .

A determinação do tipo de distribuição que melhor expressa o conjunto de dados é de grande importância para o estudo dos ensaios acelerados, uma vez que esta informação é essencial para a transposição dos dados dos níveis mais elevados de estresse para as condições normais de uso. Para essa transposição é utilizado um modelo matemático que será discutido a seguir.

3. O modelo de transposição de dados

Para discutir o processo de transposição (extrapolação ou relacionamento) dos dados obtidos em um teste acelerado às condições de uso, pode-se assumir que um produto tenha sido testado sob um único nível de estresse e que os tempos até a falha tenham sido obtidos para este nível.

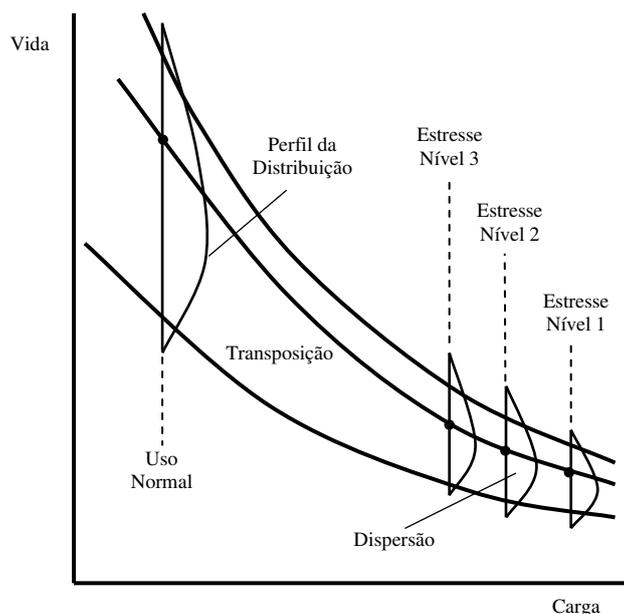
Os dados de vida sob estresse podem ser analisados a partir da sua distribuição estatística, por meio da função densidade de probabilidade apropriada. Através desta função densidade, apropriada aos dados, pode-se visualizar o comportamento do componente testado e estimar sua vida neste nível de estresse. Entretanto, a meta de um teste acelerado não é obter estimativas de vida no nível de estresse do teste, mas sim nas condições normais de uso, conforme ilustrado na Figura 1. Para isso, os chamados modelos de transposição são usados para relacionar os parâmetros de interesse das condições aceleradas de ensaio para as condições normais de uso.



Fonte: Reliasoft Corporation (2001)

Figura 1 – Transposição da condição de estresse para a normal.

Nas condições reais de análise de vida, através de testes acelerados, quando um componente é submetido a diferentes níveis de estresse pode ser observada uma variação no perfil da distribuição dos dados, especialmente na dispersão, para os diferentes níveis, além da variabilidade nos resultados dentro de um mesmo nível. A Figura 2 ilustra esta situação.



Fonte: Reliasoft Corporation (2001).

Figura 2 – Vida em função do estresse

Os modelos de relacionamento estresse-resposta ou modelos de transposição tradicionais, com uma só variável de estresse são Arrhenius, Eyring e Potência Inversa. Os modelos de Arrhenius e Eyring são especialmente indicados quando a variável de estresse é a temperatura. O modelo da Potência Inversa é utilizado nos casos em que a variável de estresse é de natureza não-térmica, cuja expressão matemática é dada pela equação 2, onde: $L(V)$ representa a medida quantificável de vida, V é o nível de estresse e K e n são parâmetros do modelo a determinar por um processo de ajustamento, com $K > 0$.

$$L(V) = \frac{1}{K.V^n} \quad (2)$$

O modelo da Potência Inversa é utilizado principalmente para componentes que se degradam devido à tensão elétrica, tensão mecânica, vibrações, choques, pressão e vácuo (Reliasoft Brasil, 2001). Segundo Suhir (2002), a Lei da Potência Inversa é usada para modelar a vida de diodos emissores de luz e lasers, nos casos de aceleração por corrente ou potência elétrica. Esta aplicação é especialmente importante como referência para este trabalho, que também usa a aceleração por corrente elétrica.

A equação do modelo (2), juntamente com a equação da distribuição(1), são a base utilizada nos softwares para a transposição dos dados da condição de estresse para a condição normal.

4. O banco experimental de relés

De maneira geral, um experimento envolvendo um ensaio acelerado é composto de equipamentos e itens para a execução da lógica do ensaio, para controle das variáveis envolvidas e para impor ao componente testado os níveis desejados de estresse.

A aplicação desta lógica do ensaio é conseguida através de circuitos de comando que permitam uma repetição automática dos ciclos de teste. O controle das variáveis de ensaio é conseguido, também, com controladores automáticos. Além disso, para a aplicação da carga de estresse sobre o componente é necessário que o valor aplicado seja adequado em forma e intensidade ao tipo de estresse escolhido para o ensaio.

O ensaio, em si, consiste em submeter os componentes a serem testados às condições pré-determinadas, registrando-se o tempo até a falha de cada um. Para cada novo lote o procedimento é repetido numa nova condição de estresse. O resultado dos ensaios é um conjunto de dados de falha obtidos sob estresse que, após a análise através das distribuições de probabilidade e dos modelos de transposição, é transposto para as condições de uso que é a meta final do teste.

De maneira específica, neste trabalho discute-se o experimento realizado (SASSERON, 2005) para ensaio acelerado de relés, com estresse de corrente elétrica, desenvolvido em um painel de testes montado especialmente para esta finalidade. A figura 3 mostra o painel de ensaios implementado.



Fonte: Sasseron (2005)

Figura 3 – Banco experimental de ensaios de relés

A Figura 4 ilustra o diagrama geral do teste discutido neste trabalho, onde são mostrados os elementos-chave do teste do relé, quais sejam: o controle da tensão, da temperatura, a aplicação da corrente de carga (estresse) e os ciclos liga/desliga que são executados até que cada relé testado apresente uma falha. Estes elementos são descritos a seguir.

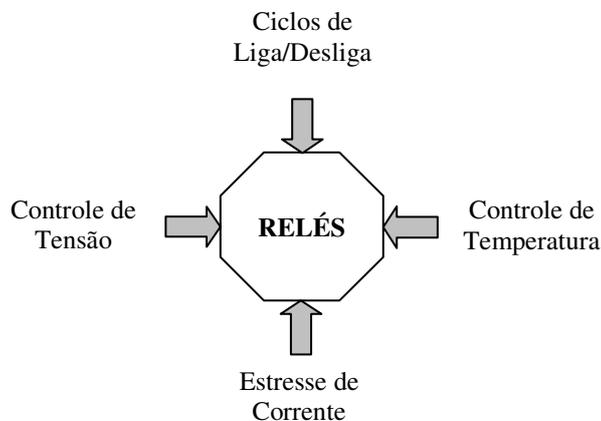


Figura 4 – Esquema geral do experimento com relés

As características principais dos relés eletromagnéticos utilizados no trabalho são determinadas pelo valor da tensão elétrica que deve ser aplicada à bobina, a máxima corrente elétrica que pode passar pelos seus contatos e sua temperatura limite de operação. A alteração de uma ou mais dessas características provoca uma alteração na vida útil do relé, sendo esta vida útil explorada nos ensaios deste experimento. As características nominais do relé escolhido para os testes são: tipo NA (contato normalmente aberto), tensão contínua de 24V na bobina, corrente de 5A nos contatos e temperatura de operação de 55°C. O tamanho de cada lote de relés foi definido com 16 unidades, número comum para módulos de saída de controladores e superior às 10 unidades utilizadas na prática do ensaio acelerado.



Fonte: Sasseron (2005)

Figura 5 – Parte frontal interna do painel

O controle de temperatura requer o ambiente fechado, que funciona como uma estufa, conforme mostrado na parte superior da figura 5. Imediatamente abaixo dos relés, está o sensor de temperatura que é um termopar do tipo J, em forma de uma haste, que envia o sinal de temperatura do interior da estufa para o controlador. O controle de temperatura é feito por um controlador digital (localizado na porta do compartimento inferior), que recebe a informação de temperatura, compara com a temperatura programada e liga ou desliga o resistor de aquecimento através de um relé de estado sólido (compartimento inferior), de acordo com o programa de controle tipo PID (proporcional-integral-derivativo), que já vem incorporado ao controlador. O esquema mostrado na Figura 6 ilustra o sistema de controle de temperatura.

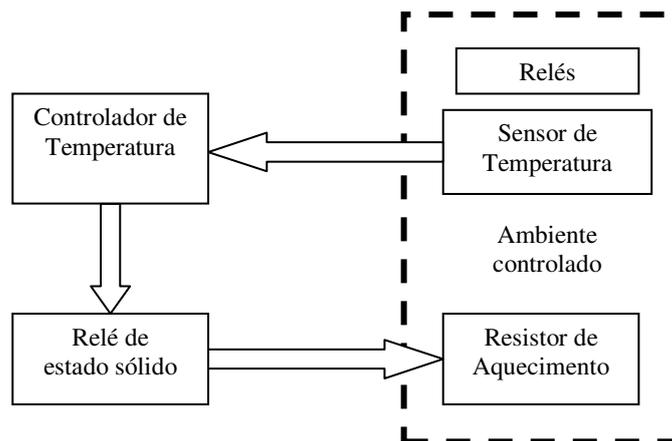


Figura 6 – Esquema do controle de temperatura

Para o controle da tensão de ensaio, foi especificada uma fonte de tensão do tipo chaveada, que mantém o valor da tensão de saída constante em 1%, com tensão de entrada podendo variar entre 85 e 264V (corrente alternada), frequência 50/60Hz, tensão de saída constante de 24V (corrente contínua) e corrente máxima nominal de 10A. Para permitir os ensaios com correntes superiores a 10A, foram utilizadas duas fontes idênticas ligadas em paralelo (parte inferior do painel). As fontes possuem um circuito eletrônico que controla a distribuição de carga entre ambas, fazendo com que cada uma forneça metade da corrente requerida pela carga, até o total de 20A.



Fonte: Sasseron (2005)

Figura 7 – Parte traseira interna do painel

Os valores de corrente necessários a cada nível de estresse foram obtidos com conjuntos de resistores fixos (Figura 7), associados em série e em paralelo, submetidos à tensão constante da fonte. Para evitar que as variações das resistências interferissem nos valores de corrente

considerados no ensaio, os valores dos resistores utilizados foram determinados através de medição com um medidor de precisão, que apresenta uma incerteza de 0,64% do valor medido, devidamente calibrado.

Para o tipo de ensaio aqui discutido são necessários temporizadores, comparadores lógicos, contadores e módulos de entrada e de saída, razão pela qual um controlador lógico programável foi utilizado para gerenciar todo o experimento. O hardware do sistema é composto de uma placa de circuito impresso, que contém o controlador, instalada no microcomputador, visto na Figura 3. Os módulos de controle foram instalados no compartimento inferior do painel de testes, mostrados na Figura 5. Os comandos são transferidos, através de um cabo de comunicação, para um módulo de rede que está acoplado aos demais módulos de entrada e saída.

5. Condições experimentais e resultados

Para cada lote de 16 relés foram definidos quatro níveis constantes para a corrente de carga, ou seja, 6,5A, 9,2A, 11,6A e 15,0A, enquanto a corrente de uso normal do relé é de 5,0A. São necessários no mínimo dois lotes para executar um ensaio acelerado. Para diminuir o tempo de ensaio, sem ultrapassar os limites construtivos dos relés, foi definido um tempo de 100ms para conferir a abertura e o fechamento dos relés, considerando que o tempo de fechamento/abertura definido pelo fabricante é de 30ms.

A análise dos dados de ensaios acelerados se inicia pela identificação da distribuição estatística que melhor representa os dados. Os dados obtidos nos ensaios dos quatro lotes de relés são apresentados na Tabela 1, na ordem crescente do número de ciclos até a falha, e com a indicação se houve falha (F) ou suspensão (S). Valores suspensos indicam que os componentes não apresentaram falha até a interrupção do ensaio.

Ordem	Lote 1= 6,5A		Lote 2= 9,2A		Lote 3= 11,6A		Lote 4= 15,0A	
	Ciclos	F/S	Ciclos	F/S	Ciclos	F/S	Ciclos	F/S
1	480.406	F	73.352	F	31.085	F	45.588	F
2	551.402	F	98.033	F	98.888	F	111.632	F
3	813.123	F	236.320	F	109.381	F	113.205	F
4	1.868.621	S	264.699	F	131.948	F	132.499	F
5	1.868.621	S	420.441	F	132.251	F	153.180	F
6	1.868.621	S	455.503	F	136.459	F	163.699	F
7	1.868.621	S	495.202	F	138.240	F	164.788	F
8	1.868.621	S	550.119	F	143.818	F	179.237	F
9	1.868.621	S	733.991	F	191.223	F	204.592	F
10	1.868.621	S	894.067	F	208.244	F	211.918	F
11	1.868.621	S	953.393	F	209.839	F	216.590	F
12	1.868.621	S	1.793.409	F	229.059	F	251.962	F
13	1.868.621	S	1.817.479	F	254.377	F	266.807	F
14	1.868.621	S	1.882.756	F	433.524	F	300.019	F
15	1.868.621	S	2.064.540	F	500.092	F	367.829	F
16	1.868.621	S	3.309.823	S	522.573	F	526.826	F

Tabela 1 – Número de Ciclos até a Falha dos Relés

A escolha da função de distribuição $f(t)$ mais adequada foi feita através de um teste de aderência numérico, o método da máxima verossimilhança (KENETT E ZACHS, 1998). Calculando-se os parâmetros de cada distribuição pelo método da máxima verossimilhança através do software Weibull++®, tem-se os coeficientes MLE para os quatro valores de corrente de estresse apresentados na Tabela 2.

Lote	Corrente	Exponencial	Normal	Log-Normal	Weibull
1	6,5 A	-50,9408	-52,4196	-50,6077	-50,9359
2	9,2 A	-223,2411	-229,1090	-222,8834	-223,2235
3	11,6 A	-212,5978	-212,3527	-209,6756	-209,8388
4	15,0 A	-212,3159	-208,6609	-207,0975	-207,2589

Tabela 2 – Coeficientes de MLE para as distribuições

Conforme pode ser observado na Tabela 2, o maior valor de MLE dentro de cada lote de amostras, corresponde à função de distribuição Log-Normal, que é a que melhor representa o conjunto de dados obtido nos ensaios. Com esta distribuição definida, o próximo passo é fazer a transposição dos dados.

Para a transposição dos dados acelerados do ensaio para o valor nominal de 5A de corrente, é necessário um método numérico de cálculo, uma vez que os modelos clássicos utilizados têm parâmetros a serem determinados numericamente. Para o cálculo da transposição dos dados foi utilizado o *software* ALTA® para os cálculos de transposição pelo Modelo Potência Inversa – Log-Normal, com determinação de parâmetros executado por métodos numéricos. O gráfico da Figura 8 ilustra a transposição dos dados para o valor de corrente de uso normal de 5A.

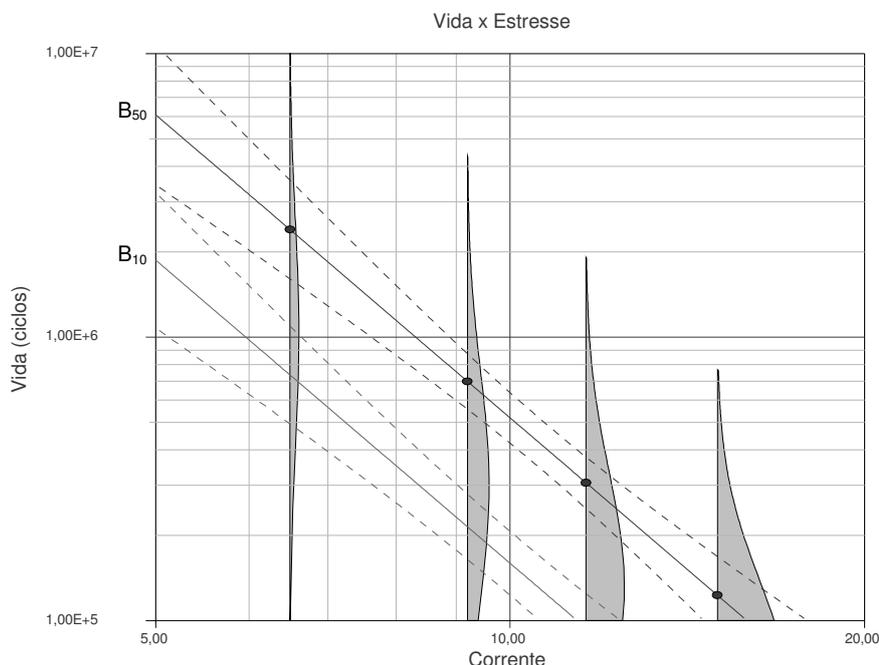


Figura 8 – Gráfico de Transposição dos Dados

Os valores calculados pelo software ALTA® para a corrente nominal de 5A, para o percentil 50%, ou seja, metade dos relés com falha, é de 6.078.200 ciclos. O limite inferior do intervalo de confiança aponta para o valor de 3.443.000 ciclos.

Comparando-se os valores obtidos com o valor de referência do catálogo do relé, verifica-se que o catálogo cita uma expectativa de vida de 1.000.000 de ciclos, enquanto que o ensaio aponta para um valor B_{50} de 6.078.200 ciclos, substancialmente maior. Assumindo que o fabricante utiliza o valor inferior do intervalo de confiança para especificar seu produto, neste nível de confiança, tem-se o número de ciclos de 3.443.000, mais próximo do valor informado no catálogo, porém, ainda consideravelmente maior para fins práticos. Mesmo não conhecendo o método utilizado pelo fabricante do relé para obtenção da expectativa de vida, é possível observar que o valor indicado por ele no catálogo é um valor conservador quando comparado com os valores obtidos nos ensaios. Tais dados relativos ao B_{50} são relevantes pelo fato dos catálogos trazerem este valor como expectativa de vida, segundo Sterl (1997).

6. Conclusões

O arranjo do painel de testes mostrou ser eficaz no controle de temperatura, na regulação de tensão e na contagem de ciclos dos relés, sendo que não houve nenhuma ocorrência que o sistema de testes montado deixasse de atender, mantendo assim a integridade dos ensaios.

A relação entre os dados obtidos nos testes e os dados encontrados no catálogo do fabricante mostra os dados experimentais de vida significativamente superiores aos encontrados nos catálogos. Isso denota uma grande margem de segurança embutida nos dados de vida especificados no catálogo e faz com que a confiabilidade do componente seja superior à informada. Isto pode significar, por um lado, maior tranquilidade na aplicação do componente, e, por outro, que o componente poderia ter suas características melhor exploradas na aplicação se uma informação de vida mais realista estivesse disponível.

Além disso, com os dados obtidos do ensaio acelerado a extrapolação pode ser feita para outras condições normais de uso, específicas e diferentes do valor nominal utilizado neste trabalho, o que torna o ensaio acelerado imprescindível em algumas situações.

Outro fator importante a ser considerado é a redução de custo que se pode obter com a aceleração dos ensaios em relação aos ensaios feitos nas condições normais de uso do componente.

Finalmente, uso do ensaio acelerado pode aumentar a confiabilidade dos componentes utilizados no desenvolvimento de novos produtos, reduzindo assim a necessidade de testes mais complexos com todo o produto e contribuindo para a redução de tempo e de custo destes desenvolvimentos.

Referências

FREITAS, M. A.; 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, v. 12).

HEALY, J.D. Basic Reliability. In: Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2002, Tutorial Notes, Seattle, USA.

KENETT, R. S.; ZACHS, S. Modern Industrial Statistic: Design and Control of Quality and Reliability, 1 ed. Pacific Grove: Brooks/Cole Publishing Company, 1998.

NELSON, W. Accelerated Testing: Statistical Models, Test Plans, and Data Analyses, John Wiley & Sons, New York, 1990.

RELIASOFT BRASIL. Introdução a Análise de Ensaio Acelerados, Treinamento, São Paulo, 2001.

RELIASOFT CORPORATION. Accelerated Life Testing Reference: Alta® Version 6, Tucson, AZ USA, Reliasoft Publishing, 2001.

SASSERON, P. L. Estudo experimental de ensaio acelerado aplicado a relés. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção – PPGEP/UNIMEP. Santa Bárbara d'Oeste – SP. Março 2005.

STERL, R. Power Relays, EH-Schrack Components AG, Vienna, Austria, 1997.

SUHIR, E. Accelerated Life testing (ALT) in Microelectronics and Photonics: Its Role, Attributes, Challenges, Pitfalls, and Interaction with Qualification Tests, Journal of Electronic Packaging, v. 124, n. 3, p.281-291, Sept. 2002.

VASSILIOU, P.; METTAS, A. Understanding Accelerated Life-Testing Analysis. In: Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2002, Tutorial Notes, Seattle, Washington, USA.