

PROPOSTA DE MÉTODO PARA CÁLCULO E PREDIÇÃO DE DADOS DE  
CONFIABILIDADE BASEADOS EM FONTES MISTAS (01)

Marco Antonio Abifadel (02)  
Irany de Andrade Azevedo (03)

SUMÁRIO

São discutidas as características, as vantagens e as desvantagens dos dados de confiabilidade usados na prática industrial e identificadas as principais causas das discrepâncias entre os dados reais e os valores resultantes de predição de confiabilidade.

Uma sistemática para avaliação de confiabilidade baseada nestas considerações é proposta considerando que um método eficaz deva trabalhar com dados de todas as fontes ou de combinações entre elas, devendo apresentar progressividade de qualidade de dados com o aumento da experiência incorporada a cada aplicação e fornecer informações básicas mesmo na hipótese de indisponibilidade de dados.

É sugerida modificação na estrutura do banco de dados tornando-o mais adequado às atualizações e à incorporação do aprendizado decorrente da utilização continuada.

Um conceito de nível de similaridade é apresentado para ser aplicado quando da inexistência de dados.

Modificação do registro das condições de testes e verificação da correlação entre resultados observados e previstos são recomendados, aumentando a precisão dos resultados.

---

(01) Contribuição técnica a ser apresentada no I ENCONTRO DA QUALIDADE TOTAL NAS INDÚSTRIAS DE ALTA TECNOLOGIA E CENTROS DE PESQUISAS - 23 a 25 de novembro em São José dos Campos - SP.

(02) Engenheiro Projetista de Produtos Senior, Divisão de Tecnologia de Produtos, ERICSSON Telecomunicações, São José dos Campos, SP.

(03) Professor Titular, EFEI - Escola Federal de Engenharia de Itajubá, MG e Pesquisador Visitante, ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP.

## 1. INTRODUÇÃO

Um banco de dados realista e uma sistemática eficaz para a predição da confiabilidade de componentes e sistemas são instrumentos essenciais ao trabalho nas empresas modernas.

A manutenção e o aperfeiçoamento dos dados armazenados são indispensáveis face à perda de sua representatividade ao longo do tempo, à diferença entre os métodos preditivos existentes, à necessidade de previsão do desempenho do produto ou processo no trabalho de campo, à economia associada à estimativa do número de sobressalentes necessário e à melhoria contínua da qualidade conseguida com a rastreabilidade, embora sejam altos os custos de criação e de manutenção.

Os dados de confiabilidade usados nas empresas provém, em geral, de quatro fontes:

- a) dados adquiridos de terceiros;
- b) dados obtidos com o desempenho no campo;
- c) dados resultantes de testes em laboratório, e
- d) estimativas resultantes de métodos de predição.

A quase totalidade dos métodos de utilização dos dados nos cálculos associados à confiabilidade não faz distinção de origem, considerando-os de qualidade aproximada.

Uma proposta de tratamento diferenciado e evolutivo no que diz respeito à qualidade dos dados é apresentada nos itens a seguir.

## 2. UTILIZAÇÃO DOS DADOS

A utilização conjunta de dados obtidos com tal diversidade tem que obedecer a um conjunto de cuidados que garantam um mínimo de homogeneidade.

## 2.1 - DADOS ADQUIRIDOS DE TERCEIROS

Manter um sistema baseado na recepção de dados de fontes externas como os fabricantes de componentes ou sistemas, as empresas de consultoria ou as empresas com mais experiência no setor, pode ser muito vantajoso quer economicamente quer do ponto de vista da disponibilidade imediata.

Todavia, para garantia da qualidade dos dados é indispensável o acompanhamento constante da fonte geradora, com verificação contínua da integridade do processo de geração e atualização dos dados.

Sugerimos o procedimento:

- a) realizar auditoria no sistema de qualidade do fornecedor;
- b) acompanhar as etapas de geração dos dados, e
- c) validar continuamente, através de análises e testes os relatórios de confiabilidade recebidos.

A praxe industrial de não se depender de um único fornecedor deve ser obedecida, procedimento que apresenta a vantagem adicional de possibilitar a comparação entre os dados das duas ou mais fontes com a conseqüente flexibilidade no uso de dados com fortes diferenças.

## 2.2 - DADOS OBTIDOS COM O DESEMPENHO NO CAMPO

São os que apresentam maior interesse para a indústria por representarem o desempenho real do produto ou processo. Sua principal limitação provém da inexistência de critérios rígidos para a avaliação de sua precisão [1,2,3].

Pela diferença essencial de origem e pelos procedimentos de manipulação e redução é conveniente separá-los nas categorias:

- a) relevantes quando resultantes de falhas atribuíveis a causas e mecanismos intrínsecos ao item, e
- b) irrelevantes quando decorrentes de manuseio indevido, condições sobrestressantes ou qualquer outra causa externa.

Serão considerados somente os dados relevantes nesta análise uma vez que os irrelevantes podem ser praticamente eliminados através de procedimentos adequados.

Com vistas à adoção de procedimentos corretivos diversificados recomendamos identificar as falhas por categorias [2] como as seguintes:

- a) primárias, quando não causadas por outras falhas de ocorrência anterior ou simultânea;
- b) completas, quando a perda da função executada pelo item excede o limite estabelecido;
- c) instantâneas, quando não podem ser antecipadas por observação ou monitoração;
- d) aleatórias, quando ocorrem durante condições de operação normais, e
- e) irreversíveis, quando é necessária intervenção manual para manutenção.

Para que os dados sejam precisos é necessário registrar o instante de ocorrência e o tipo da falha e as condições de operação. Os dados devem ser recebidos no menor prazo possível pelo encarregado de processamento e armazenagem para possibilitar a análise dos novos resultados e a atualização do banco de dados [2,4].

Caso sejam utilizados métodos de predição, e na ocorrência de discrepância significativa em relação aos dados decorrentes da operação no campo, deverá ser realizada análise acurada e efetuadas correções no método de predição.

### 2.3 - DADOS RESULTANTES DE TESTES EM LABORATÓRIO

A submissão do produto ou processo a testes é, em numerosas situações, a forma mais rápida de obtenção de dados de confiabilidade. O inconveniente principal é o custo elevado por implicar na utilização de equipamentos caros e pessoal especializado.

Outra limitação considerável é a dificuldade de simulação das condições de operação de campo, que leva frequentemente à obtenção de dados com grande disparidade em relação àqueles obtidos na prática [1,2,3,4].

A correção das condições do teste para que se aproximem da situação de operação de campo, depende de análises demoradas que acabam por recomendar a aplicação de testes acelerados, que consistem na aplicação de solicitações superiores às encontradas no campo para, com isto, antecipar a ocorrência da falha.

Deve-se cuidar para que a aceleração não introduza mecanismos de falha não existentes na operação de campo, o que produziria resultados imprecisos.

O fator de aceleração decorrente de tais testes deve ser corrigido com os dados de campo sempre que estes estiverem disponíveis, sendo indispensável a realização de análise que confirme o grau de correlação entre eles.

### 2.4 - ESTIMATIVAS RESULTANTES DE MÉTODOS DE PREDIÇÃO

Estes métodos devem sua popularidade às vantagens indiscutíveis associadas à sua adoção:

- a) a geração se faz através de fontes conhecidas;
- b) os recursos computacionais tornam a obtenção dos dados uma operação rápida e de baixo custo, e
- c) erros detetados na aplicação do método são facilmente corrigidos.

A norma mais utilizada é a MIL-HDBK 217 cujo grau de severidade e conseqüente distanciamento da realidade são amplamente aceitos, o que é confirmado pela grande discrepância entre as confiabilidades observada e prevista [3,5,6].

Normas mais adequadas para o uso civil foram desenvolvidas a partir daquela norma e são amplamente usadas em seus países de origem com resultados mais satisfatórios [7,8,9,10].

A aquisição da norma, em suas versões de tabelas numéricas [5], ou computacional, é recomendada. No caso de desenvolvimento de modelos próprios para a predição devem ser implementadas facilidades de manipulação das informações e flexibilidade na introdução de modificações no modelo [11,12].

Embora a norma MIL-HDBK 217 apresente grandes vantagens, as limitações relacionadas ao irrealismo dos valores obtidos devem ser consideradas.

### 3. DISCREPÂNCIAS ENTRE DADOS REAIS E DADOS PREVISTOS

A experiência mostra que a confiabilidade observada é sempre menor do que a confiabilidade prevista [1,2,3]]. Por esta razão é necessário identificar as causas da discrepância e corrigir o método de predição, permanentemente.

Dados de confiabilidade obtidos de métodos de predição imprecisos resultam em alocação não otimizada de recursos e redução do nível de disponibilidade (prontidão operacional) com prejuízo da operação econômica e riscos inaceitáveis em equipamentos como aqueles voltados para a segurança, por exemplo.

A análise das causas das discrepâncias deve considerar alguns aspectos que têm impacto considerável, no custo nos cálculos do número ótimo de sobressalentes, da taxa de falhas provável e na política de manutenção:

- a) Precisão do dado - devendo haver uma estimativa do desvio provável;
- b) Característica do dado - relacionada com a origem e a importância da falha (relevante/não relevante, crítica/não crítica, contratual/operacional, inerente/provocada, de software/hardware);
- c) Técnica de medição - garantindo precisão na identificação da falha e do instante de sua ocorrência;
- d) Fatores ambientais - registrando com fidelidade as condições de operação por ocasião da ocorrência da falha;
- e) Processo de fabricação - considerando que a seleção e os procedimentos de montagem de componentes, se inadequados, afetam significativamente o desempenho do produto no campo;
- f) Erros de projeto - especificação inadequada de componentes e de subsistemas aumenta a probabilidade de ocorrência das falhas de operação, e
- g) Gerenciamento de curto prazo - é ineficiente por que os efeitos da confiabilidade se manifestam, em geral, a longo prazo.

#### 4. MÉTODO PROPOSTO

A proposta que se segue busca atender as especificações:

- a) Ser flexível para trabalhar com dados das quatro fontes discutidas, isoladas ou em grupos;
- b) Permitir aperfeiçoamento a cada atualização e manutenção, caracterizando um processo de crescimento da qualidade do banco de dados e dos procedimentos empregados, e
- c) Suprir qualquer necessidade com informação básica, mesmo na hipótese de indisponibilidade completa de dados.

Para atendimento da condição (a) é necessária a padronização de condições a que as fontes estejam submetidas. Por exemplo, as solicitações a que um item esteja sujeito devem ser as mesmas tanto nos testes realizados por terceiros quanto naqueles realizados pelo próprio usuário.

A periodicidade dos testes, diretamente relacionada à atualização dos dados, deve seguir planejamento que atenda as necessidades do usuário e, no caso de dados adquiridos, deve ser objeto de acordo entre as partes.

Deve haver flexibilidade para realização de testes não programados quando ocorrerem falhas que venham a colocar em risco o funcionamento do processo ou produto e, como consequência, a imagem do fabricante.

A padronização das condições de solicitação durante os testes, embora facilite a manipulação de dados e cálculos, é de difícil realização. Por esta razão propõe-se que, diferentemente do que é usualmente pregado e efetuado, sejam cuidadosamente registradas as condições reais de teste ao invés de registrar aquelas que se imagina serão as condições de operação no campo.

Esta diferença sutil de procedimento fará grande diferença na determinação dos valores finais desejados, melhorando sensivelmente a qualidade dos dados obtidos nos testes.

Quanto ao procedimento de determinação de taxas de falha e de confiabilidade de sistemas sugere-se que seja mantido o procedimento tradicional de considerar comportamento de confiabilidade em série até o nível de subsistemas mais baixo.

Propõe-se, ainda, uma hierarquização dos dados segundo a fonte de origem, contrariando a praxe difundida de considerá-los com pesos equivalentes. A hierarquização proposta aparece resumida na figura 1.



Para que a hierarquização tenha significado é necessário que os dados obtidos no campo, os de maior hierarquia, tenham sido coletados em condições de controle adequadas, como as indicadas no item 2.2, respeitando ainda a classificação das falhas e as condições de operação reais.

As informações hierárquicas de nível intermediário, como os dados adquiridos de terceiros e dados obtidos em testes de laboratório, devem obedecer a procedimentos que os tornem compatíveis.

Reitera-se a proposição de que no cálculo devem ser consideradas as condições reais de teste, e não aquelas de campo que se pretende simular. Com isto o banco de dados passa a se constituir de dois campos básicos, como ilustrado na figura 2.

Com a configuração proposta fica simples a comparação entre os dados gerados, permitindo a definição de condições ótimas para os testes de simulação e, em decorrência, para os cálculos de predição.

A discriminação relativa à origem do dado tem grande importância, pois proporciona visualização imediata do status da informação, além de identificar automaticamente a necessidade de retrabalho do dado.

Como complemento à proposta relacionamos outros detalhes operacionais que julgamos importantes:

1. Realizar análise de modos e efeitos de falha - FMEA dos subsistemas e sistemas em operação de campo para extrair informação em nível de componente;
2. Dividir o sistema, sempre que possível, em blocos funcionais com mecanismos de falha definidos e informações de falha conhecidas;

3. Estabelecer prazos de validade para dados armazenados baseando-se na frequência de testes e no apoio logístico, e
4. Manter o registro das informações de confiabilidade por um período de tempo suficiente para analisar tendências de variação da confiabilidade de componentes ou equipamentos, das dependências com o processo de fabricação e com a funcionalidade do projeto.

Particularmente para as pequenas empresas, que não teriam respaldo financeiro para a organização das atividades indispensáveis à aplicação desta proposta, sugere-se a utilização do critério que envolve o conceito de nível de similaridade apresentado no item seguinte e que se destina à situação de total indisponibilidade de dados.

## 5. NÍVEL DE SIMILARIDADE

Considere-se nível de similaridade como a indicação numérica da semelhança, sob todos os aspectos que puderem ser identificados, entre dois itens quaisquer, sendo um deles de características conhecidas e o outro cujas características se deseja dimensionar.

Na indisponibilidade de dados o nível de similaridade pode ser usado para completar uma análise ou um projeto ou ainda para iniciar um banco de dados que permita quantificar as características de falha do item.

Propõe-se a aplicação do conceito na forma:

Similaridade de nível 1 - componentes de mesma família, fabricados no mesmo local físico (planta industrial).

Ex: Transistores BC 547 e BC 548 e CIs INTEL 8086 e 8088.

**Similaridade de nível 2** - componentes fabricados usando a mesma tecnologia.

Exemplo: Transistores bipolares, PNP, silício

**Similaridade de nível 3** - componentes com a mesma faixa de valores para determinados parâmetros.

Exemplo: Transistores com  $V_{CEO} > 100$  V e Potência de dissipação nominal entre 1,0 e 1,2 W.

**Similaridade de nível 4** - componentes cuja semelhança é longínqua, restringindo-se às vezes, ao fato de serem do mesmo tipo.

Exemplo: Transistores de baixa potência de fabricantes desconhecidos.

Componentes de níveis de similaridade diferentes teriam status diferentes no banco de dados. Os componentes com nível de similaridade 4 seriam utilizados somente na impossibilidade de uso de componentes nos níveis anteriores.

Porém, à medida que se vai acumulando informações o componente migra, melhorando seu status. Além disto o componente seria o candidato prioritário a ser testado, na primeira oportunidade, na hipótese de haver oportunidade de teste e não haver urgência para componentes de status mais elevado.

O conceito estabelece de forma objetiva os limites de utilização quando a fonte dos dados suscita dúvidas.

Por outro lado, é necessário introduzir no banco de dados um mecanismo para monitoração continuada da quantidade de itens com status de similaridade. Por exemplo, se um subsistema (uma placa de componentes eletro-eletrônicos, por exemplo) for constituído por um número de componentes incluídos no status de similaridade acima de um limite estabelecido haverá um alerta do sistema para a necessidade de reprocessamento das informações.

O conceito de similaridade, embora aqui apresentado para componentes, é geral e pode ser aplicado a itens de qualquer grau de complexidade, com as devidas adaptações.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O material apresentado reflete a experiência dos autores no cálculo e na predição da confiabilidade nos âmbitos industrial e acadêmico e busca ir ao encontro da tendência mundial de gerenciamento da qualidade voltada para a testabilidade do produto ou processo.

A mudança de enfoque que se verifica, redefine as relações cliente/fornecedor que caminham na direção do aumento da confiança recíproca, facilitado pela aceitação e aplicação, cada vez mais generalizadas, de normas como a ISO 9000.

As características principais da proposta apresentada são a hierarquização das fontes geradoras de dados de falhas, a utilização das condições reais de teste nos métodos de predição, a proposição do conceito generalizado de níveis de similaridade e a utilização de correlação para as atualizações e correções do banco de dados, tudo apresentado como partes de um processo de integração que pode ser adaptado às condições do usuário situado em qualquer grau do desenvolvimento da qualidade.

A flexibilidade da proposta permite que o sistema seja montado até de forma embrionária, respeitando as necessidades e limitações das pequenas empresas, sendo ampliado dentro de uma programação que respeite as necessidades, os horizontes e os recursos disponíveis.

## AGRADECIMENTOS

O autor Marco Antonio Abifadel agradece o apoio e o incentivo recebidos da ERICSSON Telecomunicações SA nas pessoas do Ge-

rente do Departamento de Tecnologia de Produto, eng. José Ricardo Franchito, do Chefe da Seção de Projetos e Suporte, eng. Carlos Seth Bastos e do Chefe da Seção de Projetos de Desenvolvimento, eng. Benedito Domingos Machado.

O autor Irany de Andrade Azevedo agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq o apoio recebido através de Bolsa de Pesquisador Visitante (RHAÉ) dentro de cujo Programa de Trabalho estes estudos foram parcialmente desenvolvidos.

#### ABSTRACT

Reliability data sources in current manufacturing practice are reviewed in search for reasons concerning disagreement involving field data and predicted values.

A method is proposed for reliability evaluation dealing with any sources combination, showing progressive data quality and effectiveness enhancement with continuing utilization together with the ability of producing useful basic figures even with scarce data.

A different organization of reliability data bases is proposed that makes data updating easier and embodies the desired upgrading feature.

A similarity level concept is suggested to be used in case of inadequate or non available data.

Real test instead of field expected environment values are proposed to be used in real time and accelerated tests data reduction.

Correlation is recommended as mandatory to update data bases aiming the improvement of the method.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] MILLER, E.P. & MOORE, R.I. - Field reliability versus predicted reliability: an analysis of root causes for the difference. 1991 Proceed. Annual Reliab. and Maintainab. Symp. (USA), IEEE Press, pp. 405-10, 1991.
- [2] USHER, J.S. & HOGSDON, P. - Predicting the reliability of new products at IBM. IBM Review (USA), vol.3, no. 24, 1991.
- [3] TIGERMAN, B. & AHLBOHM, O. - Predicted and observed failure rates for Ericsson's transmission equipment. Ericsson Review (Sweden), no. 1, 1988.
- [4] GUITARD, R. - Reliability data - a practical view. Microelectron. Reliab. (GB), vol. 29, no. 3, pp. 405-13, 1989.
- [5] MIL-HDBK 217E Reliability prediction of electronic equipment: military handbook, Dept. of Defense (USA), 1991.
- [6] PECHT, M. & KANG, W-C. - A critique of MIL-HDBK 217E reliability prediction methods. IEEE Trans. on Reliability (USA), vol. 37, no. 5, pp. 453-6, December, 1988.
- [7] Handbook of reliability data for electronic components used in telecommunications systems British telecom. handbook - HRD3, issue 3, (GB), January, 1984.
- [8] Recueil de données de fiabilité du CNET. CNET (Fr), Tome 1, : Partie - composants électroniques, 1983.
- [9] Standard reliability table for semiconductor devices. Nippon Telegraph and Telephone Public Corp. - NTT (Japão), December, 1982.

- [10] BLACK, A.L. - Bellcore system hardware reliability prediction. 1989 Proceed. Ann. Reliab. and Maintainab. Symp. (USA), IEEE, pp. 373-8, 1989.
- [11] SALINI, D. Reliability prediction with MIL handbook and field data collection in FMSs and robotics. Microelectron. Reliab. (GB), vol. 29, no. 3, pp. 415-8, 1989.
- [12] COLLAS, G. - Prediction for system reliability and availability. 1989 Proc. Ann. Reliab. & Maintainab. Symp. (USA), IEEE, pp. 337-41, 1989.
- [13] STRANDBERG, K. & BERGSTEN, S. - Integrated DP tools for reliability and maintainability mathematics and product handling. Ericsson Review (Sweden), no. 3, 1986.
- [14] STRANDBERG, K. - Automated tools for telecommunications systems dependability calculations. Ericsson Review (Sweden), no. 3, 1986.

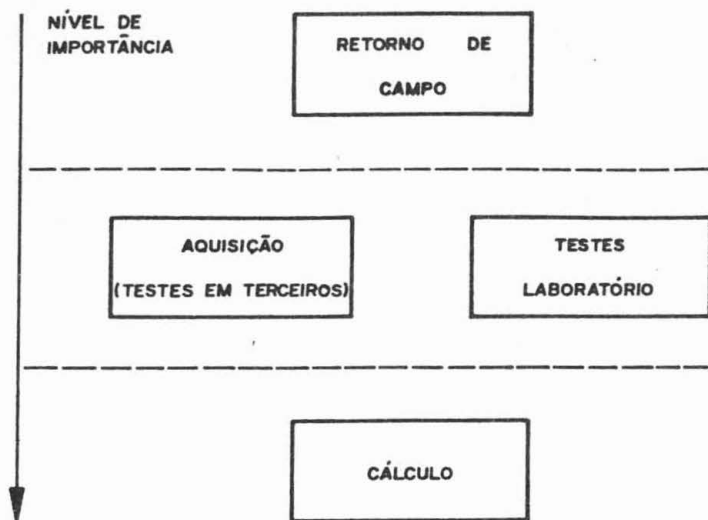


Figura 1 - Hierarquia das Fontes de Dados

\*1 - Posição Hierárquica das Fontes de Dados

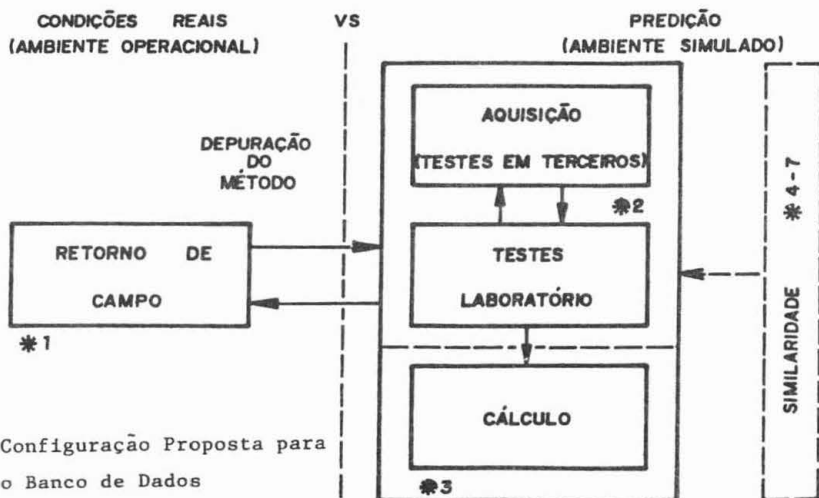


Figura 2 - Configuração Proposta para o Banco de Dados