

## ENSAIOS PARA ASSEGURAR A CONFIABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS MECATRÔNICOS

**MACHADO, Vicente Neto**

Centro Federal de Educação Tecnológica do  
Paraná – CEFET-PR – Curitiba - PR  
vmachado@daeln.cefetpr.br

**SCHNEIDER, Carlos Alberto**

Fundação CERTI - Campus da UFSC  
Caixa Postal 5053 – Florianópolis -SC  
cas@certi.ufsc.br

**OGLIARI, André**

Departamento de Engenharia Mecânica UFSC  
Campus da UFSC - Florianópolis - SC  
ogliari@emc.ufsc.br

**ASSUTI, Carlos Henrique**

Fundação CERTI - Campus da UFSC  
Caixa Postal 5053 – Florianópolis -SC  
cha@certi.ufsc.br

*Resumo: A avaliação da confiabilidade normalmente é tratada de forma matemática, onde a confiabilidade das partes determina a confiabilidade do conjunto. Esta forma de abordagem não é possível quando se trata de um produto novo, sem histórico das peças, ou mesmo quando os tempos necessários para ensaio de todas as peças, custos envolvidos e perda da janela de oportunidade do mercado tornam estas atividades inviáveis. Há que se enfatizar nestes casos, tarefas da metodologia de desenvolvimento do produto, que privilegiem a confiabilidade. Em conjunto com as tarefas de projeto para a confiabilidade têm-se ensaios de curta, média e longa duração, que direta ou indiretamente contribuem para a melhoria da confiabilidade. Este trabalho aborda sistematicamente os diferentes aspectos da confiabilidade dentro da empresa, centrando o seu foco nos diversos tipos de ensaios que podem contribuir para a confiabilidade de um produto mecatrônico durante o seu desenvolvimento. A título ilustrativo, faz-se uma análise de um problema real de confiabilidade em máquinas leitoras de códigos de barra de documentos.*

*Palavras chave: confiabilidade, metodologia de desenvolvimento de produtos, ensaios de confiabilidade, produtos mecatrônicos, metrologia.*

### 1. Introdução

Um importante aspecto a ser considerado durante o desenvolvimento de um produto é a confiabilidade. A confiabilidade aliada a outros aspectos, tais como performance, durabilidade, estética, conformidade com padrões etc, conferem a almejada qualidade de um produto. Mesmo o consumidor comum está cada dia mais atento ao aspecto de falta de confiabilidade, de forma que o fabricante tenta manter a imagem de confiabilidade aliada aos seus produtos. A empresa que tem a sua marca relacionada à falta de confiabilidade, tem dificuldades de colocação do seu produto no mercado. Isto sem mencionar os custos de manutenção, horas de indisponibilidade, suporte técnico e outros encargos que acabam sendo distribuídos ao longo da cadeia produtor consumidor.

Dependendo da aplicação, a importância da confiabilidade aumenta, chegando a ser o aspecto mais importante, em certos casos. É o caso da indústria aeroespacial, nuclear, na informática e outras, onde a não confiabilidade envolve risco de vida ou prejuízos financeiros consideráveis.

No caso de produtos mecatrônicos, que integram mecânica, eletrônica e software, a confiabilidade tem que estar associada às três tecnologias. Ressaltando-se a sua importância de acordo com a aplicação do produto final.

Um projeto bem elaborado deve proporcionar, além de outras características, a confiabilidade do produto final. Dentre as possíveis formas de introduzir a confiabilidade durante o desenvolvimento de um produto,

duas possíveis abordagens determinam resultados significativos.

A primeira consiste de tarefas de projeto e ferramentas a serem utilizadas, principalmente, nas fases iniciais do desenvolvimento, onde os resultados são mais efetivos e os custos menores. Estas tarefas / ferramentas possibilitam antecipar fatores que possam ocasionar problemas de confiabilidade no produto final.

A segunda consiste de ensaios / medições realizadas durante o desenvolvimento do produto, associados às tarefas para melhoria da confiabilidade.

### 2. Panorama geral da confiabilidade na empresa

Diversos aspectos estão relacionados à confiabilidade do produto no âmbito de uma empresa. Classificam-se estes aspectos, como mostra a Figura 1, em gerenciais, de infra-estrutura e operacionais.

- a) Entre os aspectos gerenciais destacam-se:
  - Política de confiabilidade da empresa;
  - Programas de garantia / melhoria da confiabilidade;
  - Organização para a confiabilidade.
- b) Entre os aspectos de infra-estrutura destacam-se:
  - Equipe de projeto;
  - Fontes de informação;
  - Laboratórios próprios ou de terceiros;
  - Ferramentas de desenvolvimento de produtos;
  - Metrologia;
  - Processos de manufatura;

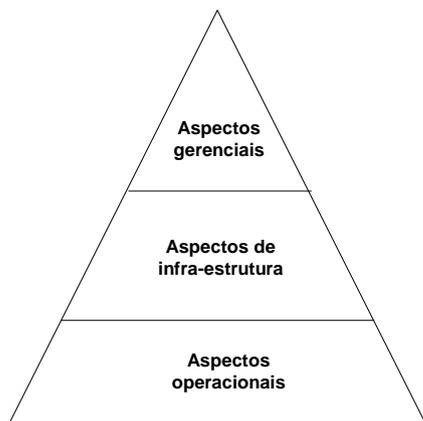


Figura 1– Estruturação da confiabilidade na empresa.

- o Controle de qualidade da produção;
- o Rede de assistência técnica;
- o Banco de dados de projetos (histórico de falhas de produtos).

c) Entre os aspectos operacionais destaca-se o manual da confiabilidade da empresa, que entre outras contém a “Metodologia de desenvolvimento de produtos da empresa”. Metodologia esta que por sua vez é detalhada em ferramentas, documentos e ensaios, que podem ser agrupados nos seguintes aspectos:

- o Gerencial;
- o Econômico;
- o Pesquisa;
- o Documentação;
- o Projeto;
- o Auxiliares do desenvolvimento;
- o Ensaios e medidas;
- o Análise de falhas;
- o Fornecedores;
- o Fabricação e montagem;
- o Assistência técnica;
- o Retirada do mercado;

### 3. Metodologias de projetos e desenvolvimento de produtos para a confiabilidade

Diversas são as metodologias ou sistemáticas de projeto de produtos [1], destacando-se entre elas cinco fases, normalmente consensuais: 1) Projeto Conceitual; 2) Projeto Preliminar; 3) Projeto Detalhado; 4) Produção e 5) Uso e Apoio Logístico (relacionada ao ciclo de vida do produto). As metodologias de projetos normalmente chegam até a fase 4 de preparo da produção, com exceção das metodologias de BLANCHARD & FABRICK [2] e HYBS & GERO 1992 apud [3], que descrevem todas as fases do ciclo de vida do produto. Também é comum a introdução de uma fase anterior ao projeto conceitual, denominada por alguns de Projeto informacional, que é adotada neste estudo.

A sistematização de projetos proposta pela VDI 2221, que é uma norma alemã, basicamente desdobra as primeiras quatro fases acima em sete, atingindo com isto

um nível de detalhamento maior, que conduzem o projetista a pensar nas diferentes funções do produto antes da sua forma de implementação física. Outro aspecto positivo da VDI é a estruturação do produto em módulos.

Quando se trata de reforçar os aspectos da confiabilidade durante o desenvolvimento de produtos mecânicos, deve-se adotar uma metodologia e ao longo das suas fases, propor tarefas que facilitem a análise ou melhorem a confiabilidade e manutenibilidade do produto final [4]. A Figura 2 ilustra parte da Fase 1 da “Metodologia para garantia da confiabilidade no desenvolvimento de produtos mecânicos” [4], indicando alguns ensaios demandados pelas tarefas de projeto.

No caso de produtos mecânicos as ferramentas utilizadas devem ser adequadas às diferentes tecnologias envolvidas ou seja, mecânica, eletrônica e software. Normalmente as ferramentas / tarefas utilizadas na mecânica podem ser utilizadas na eletrônica e no software, assim uma matriz morfológica, um diagrama de blocos, a determinação de itens críticos, a estrutura funcional e outras, são utilizadas indistintamente pelas três áreas. Outras são genéricas e aplicadas nas fases iniciais do desenvolvimento, tais como caracterização do ambiente operacional, determinação das necessidades do cliente / pesquisa de mercado, normas de confiabilidade, de segurança, de regulamentação específica, de garantias do consumidor e outras. Outras ferramentas / tarefas de projeto são específicas, tais como: considerações de interferência e compatibilidade eletromagnética na eletrônica, ensaios de materiais na mecânica ou diagramas de estados no software. A composição de todas estas pequenas tarefas aplicadas nas devidas fases do desenvolvimento do produto agrega a confiabilidade ao produto final e sistematizam o processo de desenvolvimento da empresa.

Deve-se considerar que todas estas tarefas de projeto devem estar respaldadas pela estrutura da empresa, de forma a torná-las repetitivas e mensuráveis, para que se possa ao longo de um processo cada vez melhorar a confiabilidade dos produtos. Daí a importância dos aspectos gerenciais, de infra-estrutura e operacionais citados.

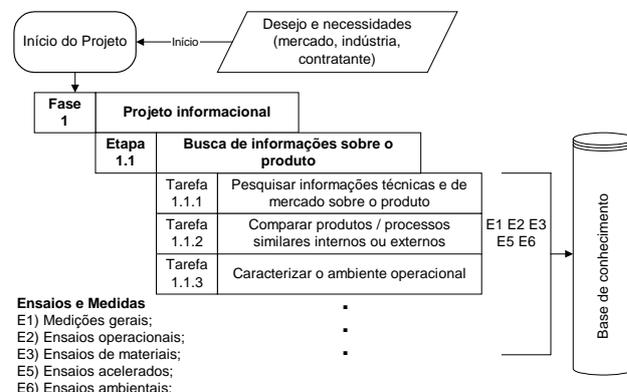


Figura 2 – Parte da fase 1 da metodologia para a confiabilidade [4].

## 4. Ensaios para a confiabilidade

Durante o desenvolvimento de um produto diversos ensaios / medidas são realizados com o intuito de quantificar parâmetros de projeto. Estes ensaios / medidas necessitam cuidados metrológicos, para que se possa decidir entre as diversas possibilidades de projeto, com base em critérios rastreáveis e confiáveis.

Classificam-se os diferentes ensaios e medidas realizadas durante o desenvolvimento de um produto mecatrônico sob o enfoque da confiabilidade em:

1. Medições gerais;
2. Ensaios operacionais;
3. Ensaios de materiais;
4. Ensaios de planejamento de parâmetros;
5. Ensaios acelerados;
6. Ensaios ambientais;
7. Ensaios de determinação (EDC) e conformidade da confiabilidade (ECC);
8. Ensaios de aceitação da confiabilidade da produção;
9. Ensaios de pré-envelhecimento;
10. Ensaios de manutenibilidade.

A seguir descreve-se em linhas gerais, os propósitos de cada um dos ensaios / medições. Maiores detalhes podem ser obtidos em [MACHADO, SCHNEIDER e OGLIARI, Jan/2001] [4].

### 4.1 - Medições gerais

Como medições gerais se classificam todas as medidas feitas durante o desenvolvimento de um produto, para avaliar parâmetros diversos, principalmente, dimensionais. Pode-se citar como exemplos medidas dimensionais utilizando-se paquímetros, medidas de velocidade angular por princípios óticos, medidas de formas de onda com osciloscópios e outras.

A atuação do software nos sistemas não pode ser quantificada diretamente, quando no máximo pode-se verificar os seus resultados por meio de medidas de velocidades, tempos, níveis de tensões etc. Isto ocorre porque o software atua indiretamente no sistema através da eletrônica, modificando os seus parâmetros o que resultará em mudanças físicas de comportamento do produto, as quais pode-se mensurar.

As medições gerais atuam nas diversas fases do projeto, contribuindo para a melhoria da confiabilidade. Pode-se citar entre outras, algumas das tarefas que demandam medidas gerais:

- Em um benchmarking na determinação de uma característica física, na fase de projeto informacional;
- Na avaliação de alternativas de projeto na fase de projeto preliminar;
- Na integração das tecnologias mecânica, eletrônica e software na fase de projeto detalhado
- Na verificação de parâmetros funcionais na produção.

### 4.2 - Ensaios operacionais

Os ensaios operacionais são realizados para: 1) Verificar o correto funcionamento e integração da mecânica com eletrônica e o software; 2) No atendimento a normas de segurança tais como a IEC 3351, UL e outras; 3) Para verificar a interação do usuário final com o produto; 4) Para verificação de parâmetros funcionais após a produção (*run-in*); 5) Verificar o atendimento a parâmetros de projeto; 6) Verificar o funcionamento do produto com os diversos tipos de ruídos não ambientais.

Pode-se inclusive filmar o funcionamento do equipamento para análises técnicas mais detalhadas.

Os ensaios operacionais podem contribuir para a melhoria da confiabilidade:

- Na verificação da interação do usuário com o produto ou de um benchmarking na fase de projeto informacional;
- Na verificação da solicitação das peças na fase de projeto preliminar;
- Na análise de circuitos ocultos (condições operacionais não usuais) na fase de projeto detalhado;
- Na análise de falhas do processo produtivo.

### 4.3 - Ensaios de materiais

Os diversos tipos de materiais existentes e suas ligas, cada vez mais utilizadas, exigem vários tipos de ensaios que cobrem propriedades mecânicas, físicas, aspectos de confiabilidade e segurança dos materiais empregados.

Várias normas regulamentam e exigem determinados ensaios de materiais, pode-se citar a ASTM D 1822 ou ISO 8256 para ensaios de impacto, a UL 746 e ASTM D 495 para resistência a arcos voltaicos, a ASTM F 84 e UL 746 C para propagação de chamas e outras.

Os ensaios de materiais podem contribuir para a melhoria da confiabilidade:

- No benchmarking no projeto informacional;
- Na avaliação de alternativas no projeto conceitual;
- Na análise de falhas no projeto preliminar e detalhado;
- Na avaliação de peças de fornecedores na produção.

### 4.4 - Ensaios de planejamento de parâmetros

Nos ensaios de planejamento de parâmetros destacam-se ensaios de Taguchi, planejamento clássico de parâmetros e planejamento de tolerâncias. Nestes ensaios busca-se o melhor arranjo das variáveis controladas, com base em uma característica de qualidade escolhida para o sistema. Deve-se também na escolha dos parâmetros insensibilizar ao máximo o sistema às variações dos parâmetros sobre os quais não se tem controle, ruídos.

Os ensaios de planejamento de parâmetros podem contribuir para a melhoria da confiabilidade:

- Na avaliação de alternativas de projeto mais confiáveis a menores custos no projeto preliminar;
- Na análise das tolerâncias no projeto preliminar e detalhado;
- Em estudos de confiabilidade aliados a redução de custos na fase de projeto detalhado;
- Na escolha de parâmetros do processo produtivo.

#### 4.5 - Ensaios acelerados

O propósito dos ensaios acelerados é determinar a performance de uma peça ou produto usando-se uma variedade de solicitações ambientais, em nível superior aos usuais. A sobre solicitação acelera o aparecimento de falhas e com isto consegue-se conhecer melhor o produto em menos tempo.

O procedimento consiste no modelamento dos dados obtidos em pelos menos duas condições aceleradas, por exemplo 323 K e 343 K. No modelamento faz-se uso de distribuições estatísticas Weibull, log-normal e outras, em conjunto com modelos de solicitação tais como: Arrhenius, Eyring, Potência inversa, Temperatura e umidade, térmico não térmico (TNT) e outros, dependendo do fator de solicitação. Pode-se assim estabelecer o fator de aceleração e traduzir os parâmetros obtidos em condições aceleradas, para o ambiente normal de operação, economizando tempo de ensaio.

Os ensaios acelerados contribuem para a confiabilidade:

- No benchmarking no projeto informacional;
- Na análise de soluções de projeto no projeto preliminar;
- Na análise de parâmetros de confiabilidade no projeto detalhado;
- Na análise do processo produtivo.

#### 4.6 - Ensaios ambientais

Estes ensaios visam simular em laboratório ou campo as condições ambientais extremas que o produto será submetido durante a sua vida.

Pode-se citar entre outros: 1) Ensaios de EMI / EMC (interferência e compatibilidade eletromagnética); 2) Ensaios de variação de tensão; 3) Ensaios de alta temperatura; 4) Ensaios de baixa temperatura; 5) Ensaios de choque térmico; 6) Ensaios de umidade; 7) Ensaios de névoa salina; 8) Ensaios de areia e poeira; 9) Ensaios de vibração; 10) Ensaios de chuva; e 11) Ensaios combinados.

Os ensaios ambientais contribuem para a confiabilidade:

- No projeto térmico do produto no projeto preliminar;
- Na análise de módulos críticos no projeto preliminar e detalhado;
- Na verificação da embalagem no projeto detalhado;
- No atendimento a normas de solicitações ambientais no projeto detalhado.

#### 4.7 - Ensaios de determinação e conformidade da confiabilidade

Pode-se classificar os tipos de ensaios de confiabilidade em “Ensaios de determinação da confiabilidade (EDC)” e “Ensaios de conformidade de confiabilidade (ECC)”. Os EDC correspondem aos experimentos usados na determinação de uma característica de confiabilidade do produto, quando esta não foi anteriormente fixada ou determinada em base aos

dados disponíveis. Os ECC correspondem aos experimentos usados para mostrar se um valor obtido para a característica de confiabilidade de um item, satisfaz, ou não, às exigências de confiabilidade fixadas como condição de aceitação do produto [6].

A Figura 3 apresenta os tipos de ensaios de determinação da confiabilidade que são classificados de acordo com a presença ou não de itens censurados (S), os itens falhos (F).

Os ensaios de determinação e conformidade contribuem para a confiabilidade:

- Na escolha de alternativas no projeto preliminar;
- Na avaliação de fornecedores no projeto detalhado;
- Na avaliação do produto no projeto detalhado;
- Na avaliação do processo produtivo.

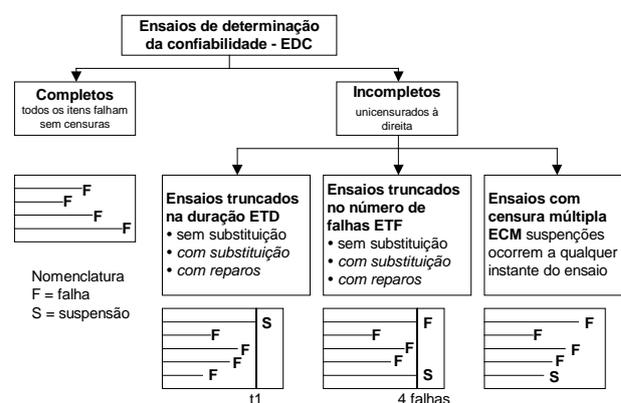


Figura 3 – Tipos de ensaios de determinação da confiabilidade.

#### 4.8 - Ensaios de aceitação da confiabilidade da produção

As principais formas de ensaios de aceitação / controle da confiabilidade da produção são:

1. Repetição periódica de ensaios de determinação da confiabilidade;
2. Ensaios em todos os produtos produzidos por um determinado número de horas e subsequente avaliação por meio de gráficos seqüenciais;
3. Controle estatístico do processo sobre parâmetros críticos.

Os ensaios de aceitação da confiabilidade da produção contribuem para a confiabilidade, na análise e manutenção do processo produtivo da empresa e de seus fornecedores.

#### 4.9 - Ensaios de pré-envelhecimento

É conhecido que a maioria dos produtos sejam eletrônicos, eletromecânicos ou mecânicos apresentam uma quantidade desproporcional de falhas no período inicial de seu uso. A taxa de falhas inicial é alta e cai à medida que o produto entra em vida útil, quando a taxa de falhas geralmente é constante.

Os ensaios de pré-envelhecimento buscam superar esta fase inicial de alta taxa de falhas, ensaiando os produtos por um determinado tempo.

Contribuem para a confiabilidade na avaliação dos produtos após a produção evitando falhas prematuras em campo. O tempo apropriado de ensaio deve ser determinado na fase de projeto detalhado.

#### 4.10 - Ensaios de manutenibilidade

Ensaios de manutenibilidade visam quantificar as características de projeto que determinam fácil acesso, precisão, oportunidade e ações econômicas de manutenção. Dado que esta característica é multidimensional, ela tem numerosas medidas. A manutenibilidade pode ser medida em termos da combinação de tempos decorridos, horas de trabalho e taxas, custos de manutenção, frequência e relevantes fatores logísticos de suporte.

A manutenção é executada em um sistema ou componente, em função de uma falha, ou como uma medida preventiva para prevenir uma falha esperada.

A demonstração formal da manutenibilidade de um produto inclui a simulação de todas as ações de manutenção (isto é corretivas e preventivas), para as quais se verifica o cumprimento das especificações de manutenibilidade. Existem dois métodos de demonstração: o método seqüencial e o método de amostra fixa.

Os ensaios de manutenibilidade contribuem para a disponibilidade dos produtos. Indicam onde a confiabilidade deve ser melhorada, devido a dificuldades de manutenção, que podem comprometer a disponibilidade.

Os ensaios de manutenibilidade são usuais:

- o No benchmarking na fase de projeto informacional;
- o Na análise de alternativas no projeto preliminar;
- o Na determinação de parâmetros tais como, disponibilidade, manutenibilidade, custos etc, no projeto detalhado;

#### 5. A metrologia nos ensaios

Deve-se ter claro que ao efetuar-se medidas de qualquer natureza, nunca se está medindo o seu valor real, mas uma aproximação, que nos chega por meio de uma extensa cadeia a começar com a definição internacional da unidade de medida. Dependendo de quanto se admite de incerteza na medida, maiores ou menores serão as amostras e cuidados com a incerteza de medição dos instrumentos de medida.

Pode-se citar ainda cuidados com amostragem, repetitividade, reprodutibilidade, capacidade do sistema de medição e outras. A Figura 4 ilustra um procedimento básico para cálculo da incerteza tipo A de medidas. Entende-se como incerteza tipo A as incertezas calculadas matematicamente admitindo-se que os dados obedecem a uma determinada distribuição. As incertezas tipo B, nas quais se enquadram todas as outras incertezas, podem ser obtidas a partir de [5]:

- o dados de medições prévias;
- o da experiência e conhecimento do comportamento;
- o especificações do fabricante;
- o dados de certificados de calibração;
- o incertezas relacionadas a dados de referência extraídos de manuais.

Assim dependendo da aplicação, os cuidados metrológicos deverão ser intensificados na busca da quantificação da influência de todas as variáveis na resposta medida. Deve-se lembrar que no desenvolvimento de um produto quase sempre não se tem tempo para uma análise de incertezas tipo B. No mínimo deve-se ter noção das incertezas tipo A, o que pode levar a uma extensão dos ensaios para uma tomada de decisão com maior confiança.

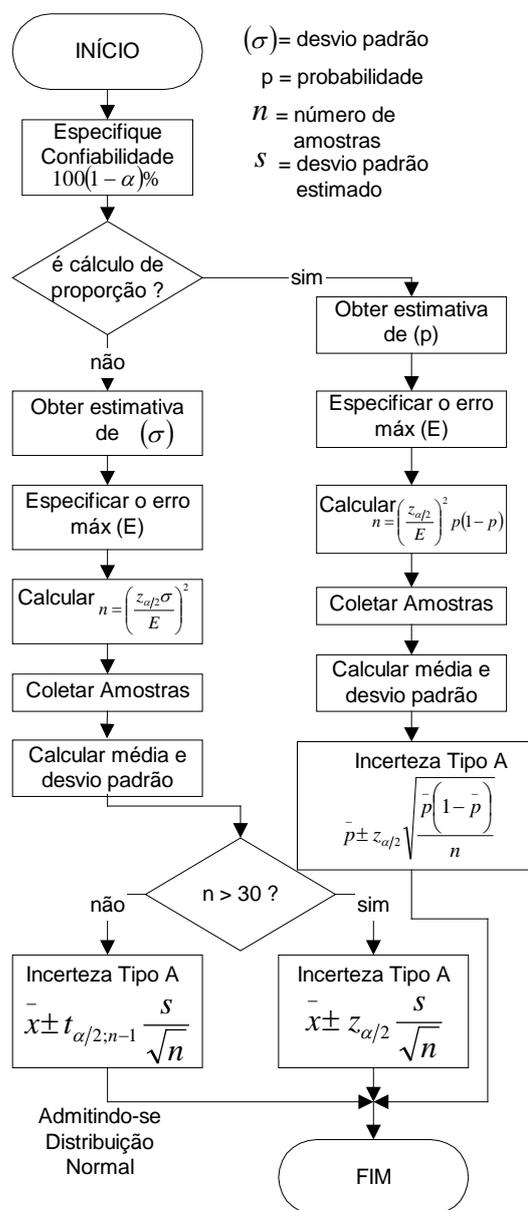


Figura 4 – Procedimento geral para determinação das incertezas tipo A de medidas feitas durante o desenvolvimento de um produto.

## 6. Estudo de caso

Este estudo de caso foi realizado no “Centro de inovação em produtos (CIPd)” da “Fundação CERTI”, uma organização de P&D situada no campus da UFSC.

Determinado cliente da CERTI na iminência de adquirir um grande lote de leitoras de código de barras, quer determinar se o lote protótipo apresenta as características de confiabilidade especificadas.

Optou-se por um ensaio de determinação da confiabilidade (EDC) com censura múltipla. A razão para o uso de um EDC, foi de conhecer mais a respeito do produto, conhecimento este que é mais intenso com a determinação da distribuição de falhas do produto e que certamente será utilizada para outros fins, principalmente, para melhorar a confiabilidade através da realimentação do projeto.

### 6.1 - Caracterização do problema

Na busca de um parâmetro de ensaio que determinasse o bom funcionamento do equipamento estabeleceu-se que o “índice de rejeições de leituras – IRL” seria a medida mais adequada, já que este sintetizava o correto funcionamento de todas as partes envolvidas: mecânica, eletrônica e software. O valor máximo de 5% de IRL foi estabelecido, além do qual é caracterizada a falha.

A unidade de tempo neste caso é a quantidade de ciclos do equipamento. Entendendo-se como um ciclo, a leitura completa do código de barras de um documento.

O diagrama de blocos do produto foi dividido nos seguintes blocos básicos: 1) Acionamento; 2) Leitura; 3) Decodificação; 4) Controle digital; 5) Interface homem / máquina; 6) Interface de comunicação; 7) Suporte / Fiação e 8) Alimentação. Com o diagrama de blocos e considerando-se os parâmetros críticos, construiu-se uma árvore de falhas. A Figura 5 mostra parte desta árvore de falhas, que considera como falha IRL > 5%.

Procurou-se no início do ensaio monitorar o maior número possível de variáveis, que pudessem de alguma maneira influir no IRL. Assim foram monitorados parâmetros tais como: tensão de alimentação, temperatura do regulador de tensão da fonte, temperatura do microprocessador, velocidade de passagem do documento, temperatura do motor, rotação do motor e continuamente o ensaio era interrompido para verificação do desgaste das principais peças do sistema de tração mecânica do documento.

O fornecedor especificou um MTBF (*mean time between failure*) de 1 milhão de ciclos. O MTBF ou MTTF (*mean time to failure*) para produtos descartáveis, também é chamado de vida média, e fornece o tempo médio de operação até a falha. Deve-se aqui fazer um esclarecimento, que ao contrário do que muitos dizem, o inverso da taxa de falhas ( $\lambda$ ) somente é igual ao MTBF, quando se está trabalhando com uma distribuição exponencial.

Para distribuições assimétricas tais como exponencial, Weibull, log-normal, gama a média da função densidade de probabilidade de falha, que

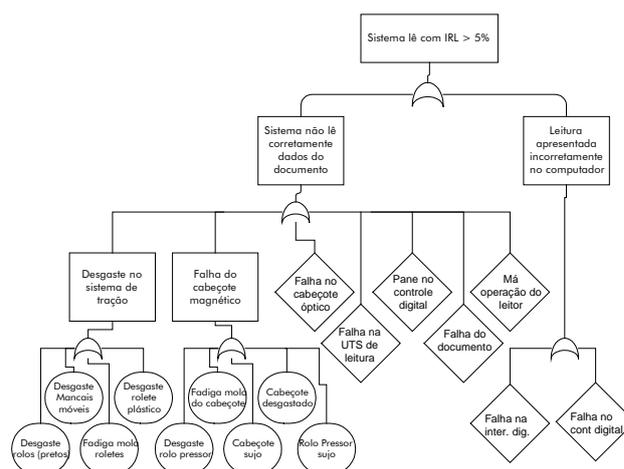


Figura 5 – Parte da árvore de falhas da leitora de código de barras.

representa a vida média do produto (MTBF), corresponde ao centro de gravidade da função, porque é o ponto no qual a soma de cada tempo a esquerda e suas respectivas probabilidades se anulam com os tempos e probabilidades a direita [7]. Isto, geralmente, ocorre quando bem mais de 50% dos produtos já falharam.

Ao comparar diversos produtos que obedecem a uma distribuição, por exemplo Weibull, não se deve analisar apenas a MTBF como parâmetro para escolha, pois produtos muito diferentes nas suas probabilidades de falhas para uma determinada vida, podem apresentar a mesma MTBF. Quando a distribuição é Weibull, deve-se analisar o parâmetro de forma “ $\beta$ ” (inclinação da reta para Weibull) e o parâmetro de escala “ $\eta$ ” (também denominado de vida característica). Alias assume-se erroneamente que a MTBF é igual a vida característica  $\eta$ , isto só é verdadeiro no caso em que  $\beta = 1$  (para Weibull), como pode-se verificar na Equação 1, que calcula a MTBF para a distribuição de Weibull de dois parâmetros ( $\Gamma$  = distribuição gama).

$$MTBF = \bar{T} = \eta \Gamma \left( \frac{1}{\beta} + 1 \right) \quad \text{Equação 1}$$

A execução manual de mais de 1 milhão (a MTBF especificada) de ciclos, no tempo de um operador normal, levaria muito tempo. Assim foi construído um dispositivo que simulava a passagem de documentos, ininterruptamente, um após o outro. O dispositivo em nada alterava a operação normal do produto, preservando os modos de falha. Portanto conseguiu-se encurtar o tempo de ensaio apenas aumentando-se a frequência dos ciclos, sem necessidade de recorrer a um ensaio acelerado.

Os dados da Tabela 1 foram obtidos do ensaio de laboratório de 6 amostras. As primeiras análises dos dados levaram à verificação de dois modos de falhas, que ocasionavam a elevação do IRL além do limite de 5%.

O primeiro modo de falha era sujeira acumulada nos rolos de tração e na cabeça de leitura. Esta sujeira em

Tabela 1 – Dados obtidos dos ensaios

Estado	Ciclos	Unidade	Difer. Anterior	Tipo de Falha
F	205.000	5093		Limpeza
F	246.000	5093	41.000	Limpeza
F	301.000	5093	55.000	Limpeza
F	345.000	5093	44.000	Limpeza
F	487.000	5093	142.000	Troca Mancal
S	550.000	5093	63.000	
F	647.000	5152		Limpeza
F	694.000	5152	47.000	Limpeza
F	720.000	5152	26.000	Limpeza
S	1.000.000	5152	280.000	
F	257.000	5085		Limpeza
F	301.000	5085	44.000	Limpeza
F	305.000	5085	4.000	Troca Mancal
F	657.000	5085	352.000	Limpeza
F	669.000	5085	12.000	Troca Buchas
S	1.000.000	5085	331.000	
F	278.000	5177		Limpeza
F	402.000	5177	124.000	Limpeza
F	413.000	5177	11.000	Troca Mancal
F	424.000	5177	11.000	T Mancal E Trás
F	480.000	5177	56.000	Limpeza
S	640.000	5177	160.000	
F	304.000	5142		Troca Mancal
F	331.000	5142	27.000	Limpeza
S	480.000	5142	149.000	
S	811.000	5106		
F	270.000	5076		Limpeza
S	480.000	5076		

parte era dos próprios documentos lidos e também devido ao desgaste do material dos rolos de tração. Observou-se também que as primeiras manutenções para limpeza eram mais espaçadas das subsequentes, o que também caracteriza um modo de falha diferente, que não será aqui analisado.

O segundo modo de falha era devido ao desgaste dos mancais dos eixos móveis dianteiros, que determinou a troca dos mesmos. A Tabela 2 separa os dados relativos à troca do mancal.

Assim tem-se um modo de falha que a princípio, poderia ser eliminado com manutenções preventivas (primeiro) e um modo de falha que exige modificações de projeto (segundo, desgaste do mancal).

Tabela 2 – Falhas que exigem a troca do mancal.

Estado	Ciclos	Unidade
F	304.000	5142
F	305.000	5085
F	413.000	5177
F	487.000	5093
S	811.000	5106
S	1.000.000	5152

## 6.2 - Modo de falha, desgaste do mancal

Analisando o desgaste do mancal resolveu-se, após a análise de vários gráficos, para diferentes distribuições, excluir da análise os dois pontos de suspensão, considerados *outliers*, que poderiam ser explicados através de uma análise mais cuidadosa dos materiais empregados, processos produtivos, fornecedores etc (dados que não se teve acesso). A distribuição que melhor se adaptou aos dados foi a log-normal, conforme mostra a Figura 6. Utilizou-se na análise o software Weibull 6 da firma Reliasoft, no método da máxima verossimilhança MLE, com limites de confiança de 90%.

Da análise dos dados obtém-se uma vida média (MTBF) de 380 mil ciclos (intervalo de confiança I.C. de 90% - 460mil a 310mil) para o qual tem-se uma confiabilidade de 45% (I.C. 90% - 17% a 76%) ou seja 54% dos produtos já teriam falhado com 380 mil ciclos. A probabilidade de a leitora suportar 1 milhão de ciclos é praticamente nula. Sendo que para ter-se 90% de confiança que a leitora não ira falhar, a troca dos mancais deveria ser feita com 270 mil ciclos (I.C. 90% - 200mil a 370mil).

## 6.3 - Modo de falha, sujeira nos rolos de tração

Na análise do outro modo de falha de sujeira nos rolos de tração utilizou-se os dados da Tabela 1, coluna diferenças para a anterior, obtendo-se 15 falhas e 5 suspensões. Observe-se que as manutenções iniciais mais espaçadas, foram retiradas da análise.

Novamente foi utilizado o software Weibull 6 da Reliasoft, no qual foi modelada uma distribuição Weibull 2 parâmetros utilizando-se o método MLE. Obteve-se uma vida média de 150mil ciclos (I.C. 90% 86mil a 260mil) para a qual se têm 32% de confiabilidade (I.C. 90% - 18% a 48%), ou seja 68% dos produtos já teriam falhado com 150mil ciclos. Para ter-se 90% de confiança que não haverá falha por falta de limpeza, a manutenção deve ser feita com 7 mil ciclos (I.C. 90% - 2mil a 22mil). Ou seja aproximadamente a cada mês de uso normal, o que inviabiliza a operação.

## 6.4 - Conclusões do estudo de caso

Concluiu-se que o lote protótipo de leitoras de códigos de barra tem confiabilidade muito abaixo da especificada. O problema foi resolvido estudando-se o material do mancal e substituindo-o por outro mais resistente ao desgaste. Com isto eliminou-se também o problema de acúmulo de sujeira, que exigia manutenções periódicas para limpeza. Como a quantidade de unidades para ensaio era restrita, assim como o tempo disponível, os limites de confiança ficaram muito amplos, o que poderia levar a contestações se os resultados não fossem tão abaixo dos esperados.

## 7. Conclusões

Este breve relato dos diferentes enfoques da confiabilidade, no desenvolvimento de um produto

mecatrônico, permite avaliar a complexidade de sincronizar os diversos fatores envolvidos.

A confiabilidade não é um objeto que possa ser alcançado unicamente pelo seguimento dos passos de uma metodologia de desenvolvimento de produtos. Há que se persistir em tarefas de projeto que somente adquirem a sua real importância com o uso continuado, aprendendo-se a cada aplicação. Somente estas pequenas ações diárias de aprendizado, aliadas a uma forte preservação de dados históricos e uma orientação gerencial inequívoca, podem conduzir a empresa no caminho da confiabilidade.

O caso prático relata uma dificuldade comum em ensaios, onde as amostras e o tempo disponível para ensaio são escassos e deve-se tomar uma decisão. As incertezas presentes na análise são grandes. Diante deste cenário deve-se tentar conhecer o máximo possível do produto e das reais condições de ensaio e uso, para que considerações sejam feitas no sentido de simplificar ou validar a análise.

## 8. Referências bibliográficas

- [1] BACK, Nelson; **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Editora Guanabara Dois Rio de Janeiro, RJ, 1983.
- [2] BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. **Systems Engineering and Analysis**. 3ª Ed., Virginia Polytechnic Institute and State University: Prentice – Hall, 1998.
- [3] MARIBONDO, Juscelino de Farias. **Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares**. Tese de doutorado da UFSC Departamento de engenharia mecânica – Florianópolis Agosto/2000.
- [4] MACHADO, Vicente Neto; SCHNEIDER, Carlos A.; OGLIARI, André. **Manual para garantia da confiabilidade no desenvolvimento de produtos mecatrônicos com ênfase no projeto**. Manual de apoio da tese de doutorado de Vicente Machado Neto. UFSC Departamento de engenharia mecânica – Florianópolis: Jan/2001.
- [5] ABNT, INMETRO, SBM. **Guia para a expressão da incerteza de medição**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 1998.
- [6] PALLEROSI, Carlos Amadeu. **Metodologias de ensaios e normas**. Apostila Reliasoft Brasil. 1ª Ed. São Paulo , Maio /2000.
- [7] KECECIOGLU, Dimitri. **Reliability engineering handbook - Volume 1**. 1ª Ed. Department of aerospace and mechanical engineering The University of Arizona: Prentice - Hall, Inc, 1991.
- [8] RAC RELIABILITY ANALYSIS CENTER. **Blueprints for product reliability**. Rome, NY. Reliability analysis center, May / 1996.

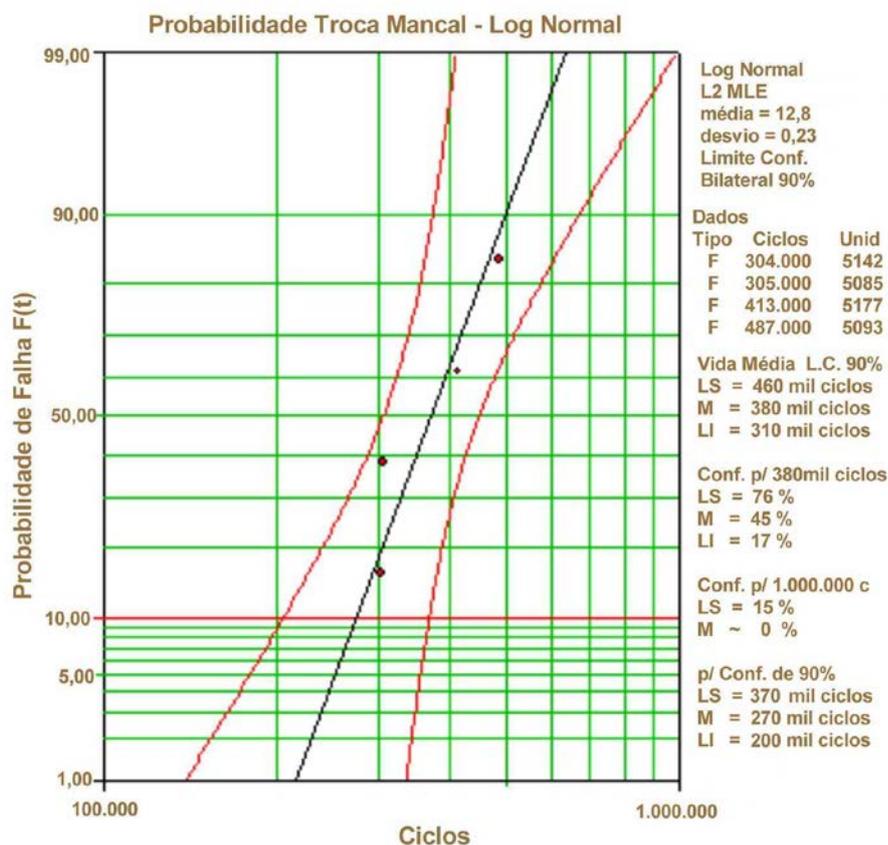


Figura 6 – Distribuição log-normal modelada para os dados de troca do mancal.