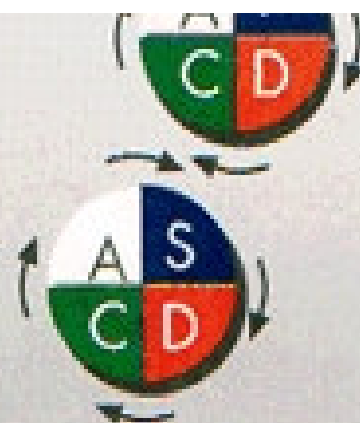


# TQC

GESTÃO PELA QUALIDADE TOTAL

SÉRIE

## FERRAMENTAS DA QUALIDADE



VOLUME **12**

## CONFIABILIDADE: ANÁLISE DE TEMPO DE FALHA E TESTES DE VIDA ACELERADOS

MARTA AFONSO FREITAS  
ENRICO ANTÔNIO COLOSIMO



## Prefácio

Este texto apresenta de maneira didática uma série de técnicas importantes para estudos de confiabilidade.

Ele se diferencia dos livros tradicionais no assunto por preocupar-se não somente em apresentar cada técnica em si, mas também em esclarecer como e onde aplicá-las nas diversas etapas que compõem o planejamento, manutenção e melhoria da qualidade.

Nossos esforços neste texto refletem dois objetivos: (1) sempre apresentar uma técnica associada a um *problema*-, (2) apresentar a metodologia em um nível acessível. Conseqüentemente, o texto é indicado tanto para alunos de graduação em estatística e engenharia, bem como para profissionais engajados nas mais diversas atividades, tais como grupos de desenvolvimento de novos produtos, produção, qualificação de fornecedores, garantia da qualidade, pós-vendas, entre outras,

O texto é dividido em sete capítulos. O Capítulo 1 trata do *conceito* de confiabilidade e fornece uma visão geral das técnicas que serão tratadas ao longo dos demais capítulos, bem como sua contextualização no planejamento, manutenção e melhoria da qualidade. O Capítulo 2 trata da análise de falhas através da FMEA e FTA. Os Capítulos 3 e 4 tratam da estimação de várias figuras de mérito através da utilização da Análise de Tempo de Falha em dados de campo ou oriundos de testes de vida. O Capítulo 5 apresenta o conceito de testes acelerados e a terminologia necessária para o entendimento do assunto. O Capítulo 6 trata da modelagem de dados provenientes de testes de vida acelerados. Finalmente, no Capítulo 7, questões relacionadas ao planejamento de tais testes são discutidas.

Gostaríamos de registrar nossos agradecimentos a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a produção deste texto, destacando: o Prof. José Martins de Godoy da Fundação Christiano Ottoni (FCO), pelo incentivo e interesse pela publicação do texto; os professores Vicente Falconi Campos (FCO), Roberto da Costa Quinino (Depto. de Estatística da Universidade Federal de Minas Gerais), João Batista Turrioni (Depto. de Engenharia de Produção da Escola Federal de Engenharia de Itajubá), Augusto Virgílio Mascarenhas da Fonseca (Depto. de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais) pela leitura do texto e preciosas sugestões; Haydée Cristina Silva, da Azul Computação Gráfica Ltda-, pela rapidez e dedicação na execução do trabalho de editoração eletrônica do texto; Prof. João Carlos de Melo Mota (professor aposentado do Depto. de Letras Clássicas da Universidade Federal de Minas Gerais) pelo minucioso trabalho de revisão; Sílvia Graziella Miccoli, da Studio "S" Design Ltda., pelo excelente trabalho de composição da capa.

Belo Horizonte, outubro de 1997.

# Sumário

1. O Significado da Confiabilidade
  - 1.1. Introdução
  - 1.2. O Conceito de Contabilidade
    - 1.2.1. O Impacto da Confiabilidade do Produto na Satisfação do Usuário
  - 1.3. Técnicas de Confiabilidade
  - 1.4. Utilização das Técnicas de Confiabilidade nos Ciclos **PDCA** de Manutenção, Melhoria e Planejamento da Qualidade
    - 1.4.1. Utilização das Técnicas de Confiabilidade no **PDCA** para o Planejamento da Qualidade
    - 1.4.2. Utilização das Técnicas de Confiabilidade no PDCA para a Manutenção da Qualidade (SDCA)
    - 1.4.3. Utilização das Técnicas de Confiabilidade no PDCA para a Melhoria da Qualidade
2. **FMEA e FTA**
  - 2.1. Introdução
  - 2.2. FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)
    - 2.2.1. Considerações Finais sobre a **FMEA**
  - 2.3. FTA (*Fault Tree Analysis*)
    - 2.3.1. Construção da Arvore de Falhas
    - 2.3.2. Avaliação da Arvore de Falhas
    - 2.3.3. Avaliação da Arvore de Falhas através de Conjuntos de Corte Mínimo
    - 2.3.4. Considerações Finais sobre a FTA
3. **Análise de Tempo de Falha: Conceitos Básicos**
  - 3.1. Introdução
  - 3.2. Uma Aplicação Real
  - 3.3. Conceitos Básicos
    - 3.3.1. Tipos de Falhas
    - 3.3.2. Censura
  - 3.4. Especificando o Tempo de Falha
    - 3.4.1. A Função de Confiabilidade
    - 3.4.2. A Função de Taxa de Falha
  - 3.5. Estimação na Ausência de Censura
  - 3.6. Estimação da Função de Confiabilidade na Presença de Censura
    - 3.6.1. Tabela de Vida
    - 3.6.2. Estimador de Kaplan-Meier
    - 3.6.3. Usando as Estimativas de R(f)
    - 3.6.4. Comparando os Estimadores
    - 3.6.5. Estimando o MTTF ou o MTBF
4. **Análise de Tempo de Falha: Modelos Probabilísticos**
  - 4.1. Introdução
  - 4.2. Modelos Probabilísticos para o Tempo de Falha

- 4.2.1 Distribuição Exponencial
- 4.2.2 Distribuição de Weibull
- 4.2.3 Distribuição Log-normal
- 4.2.4 Outros Modelos Probabilísticos
- 4.3 Estimando os Parâmetros dos Modelos
  - 4.3.1 O Método de Máxima Verossimilhança
  - 4.3.2 Papéis de Probabilidade
- 4.4 Qual Modelo Usar?
  - 4.4.1 Técnicas Gráficas
  - 4.4.2 Teste de Adequação
  - 4.4.3 Alguns Comentários
- 4.5 Uma Aplicação

## **5 Testes Acelerados**

- 5.1 Introdução
- 5.2 Conceitos Básicos
  - 5.2.1 Tipos de Testes Acelerados
  - 5.2.2 Variáveis de Estresse
  - 5.2.3 Formas de Aceleração de Testes
  - 5.2.4 Formas de Aplicação da Carga (ou Nível) de Estresse
- 5.3 Relação Estresse-Resposta 5.3.1 Relação de Arrhenius 5.3.2 Relação de Potência Inversa
- 5.4 Aplicação das Relações Estresse-Resposta em Conjunto com os Modelos Probabilísticos: Algumas Limitações

## **6 Modelos de Regressão para Dados Oriundos de Testes de Vida Acelerados**

- 6.1 Introdução
- 6.2 A Ideia Intuitiva dos Modelos
- 6.3 A Forma Geral do Modelo
  - 6.3.1 Os Modelos Arrhenius-Weibull e Potência Inversa-Weibull
  - 6.3.2 Os Modelos Arrhenius-Log-Normal e Potência Inversa-Log-Normal
- 6.4 Estimando os Parâmetros do Modelo
  - 6.4.1 Intervalos de Confiança para Percentis ( $p$ ) e Fração de Falhas Esperada ( $p = 1 - R(t)$ )
- 4.1 Verificação da Adequação do Modelo
- 4.2 Um Roteiro das Etapas de Análise de Dados Oriundos de um Teste de Vida Acelerado
- 4.3 Um Exemplo Prático

## **7 Planejando Testes de Vida Acelerados**

- 7.1 Introdução
- 7.2 Um Exemplo
- 7.3 Considerações Gerais
- 7.4 Escolha do Plano Experimental
  - 7.4.1 Pontos Básicos dos Planos de Compromisso
  - 7.4.2 Determinação de Tamanho de Amostra
  - 7.4.3 Escolha de Valores Iniciais para  $P_a$  e  $P_o$ .
- 7.5 Tamanho de Amostra para Testes de Vida

- 7.5.1 Tamanho de Amostra para a Estimação da Taxa de Falha em um Determinado Tempo
- 7.5.2 Tamanho de Amostra para a Estimação de Percentis da Distribuição do Tempo até a Falha (Weibull)
- 7.6 Considerações Finais

**Anexo A. A Gestão pela Qualidade Total**

**Anexo B. Tabelas e Figuras para Cálculo de Tamanho de Amostra**

**Anexo C. O Método de Máxima Verossimilhança**

**Anexo D. Comandos do Módulo SURVIVAL® usados nos Exemplos 1 e 2 do Cap. 4**

**Anexo E. Softwares Estatísticos**

**Bibliografia**