

35

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UMA CONTRIBUIÇÃO AO PROCESSO DE TOMADA DE
DECISÃO VISANDO A EXTENSÃO DO PRAZO DE GARANTIA

Salmo Mardegan



UFSC-BU

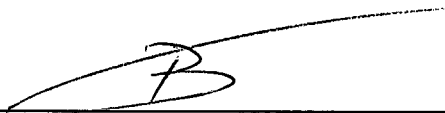


Florianópolis, abril de 1999

UMA CONTRIBUIÇÃO AO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO
VISANDO A EXTENSÃO DO PRAZO DE GARANTIA

SALMO MARDEGAN

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia, Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

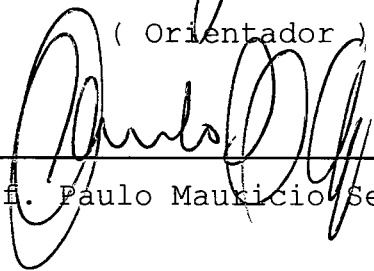


Prof. Ricardo Miranda Barcia, Phd.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Banca Examinadora:



Prof. Osmar Possamai, Dr.
(Orientador)



Prof. Paulo Mauricio Selig, Dr.



Prof. Luiz Veriano Oliveira Dalla Valentina, Dr.

Ao meu irmão, pelo exemplo de vida.
À minha família, pela paciência, contribuição e incentivo.

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho. Especialmente:

- Ao Prof. Osmar Possamai, Dr. pela orientação e incentivo;
- Ao Prof. Luiz Veriano Oliveira Dalla Vallentina, Dr. pelo apoio e sugestões na melhoria do trabalho;
- À Multibrás, por ter permitido a realização deste trabalho;
- Aos amigos da empresa pelo apoio e amizade.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	01
1.1- FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	02
1.2- OBJETIVO DO TRABALHO.....	04
1.3- ESTRUTURA DO TRABALHO.....	05
CAPÍTULO 2 - A IMPORTÂNCIA DA GARANTIA DE PRODUTOS NO CONTEXTO DA COMPETITIVIDADE EMPRESARIAL.....	06
CAPÍTULO 3 - FORMAS COMO VÊM SENDO ABORDADA AS FALHAS EM PRODUTOS.....	16
3.1- SATISFAÇÃO DO CLIENTE.....	16
3.2- UM MÉTODO PARA PREVER AS FALHAS ACUMULATIVAS DE PRODUTOS DURANTE O PERÍODO DE GARANTIA.....	18
3.3- PROCEDIMENTOS DE CONFIABILIDADE COM DADOS REAIS DE CAMPO.....	21
3.4- PROJETO ROBUSTO PARA TECNOLOGIA DE USO DUPLO.....	22
3.5- TEMPO DE VIDA DE UM PRODUTO	26
3.6- CURVA DA BANHEIRA MODIFICADA.....	27
3.7- MELHORIA DA CONFIABILIDADE ATRAVÉS DE TESTES.....	31
CAPÍTULO 4 - ASPECTOS IMPORTANTE DA CONFIABILIDADE EM PRODUTOS.....	35
CAPÍTULO 5 - DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA	53
5.1- CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO.....	53
5.2- QUALIDADE RELACIONADA ÀS FALHAS EM PRODUTOS.....	56
5.3- DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO DA QUALIDADE (QFD).....	58
5.4- ANÁLISE DO EFEITO E MODOS DE FALHAS (FMEA).....	60
5.5- ANÁLISE DA ÁRVORE DE FALHAS (FTA).....	61

5.6-	MODELO CONCEITUAL APLICÁVEL À EXTENSÃO DO PRAZO DE GARANTIA.....	63
5.6.1-	ETAPA 1: LEVANTAMENTO E PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA.....	66
5.6.2-	ETAPA 2: MATRIZ FUNÇÃO X SISTEMAS.....	69
5.6.3-	ETAPA 3: MATRIZ DO QFD.....	70
5.6.4-	ETAPA 4: MATRIZ CARACTERÍSTICAS X PROCESSOS.....	72
5.6.5-	ETAPA 5: MATRIZ PROCESSOS X FALHAS.....	74
5.6.6-	ETAPA 6: MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO.....	76
5.6.7-	ETAPA 7: ÁRVORE DE FALHAS.....	79
5.6.8-	ETAPA 8: CÁLCULO DO MTBF.....	81
	CAPÍTULO 6 - APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO.....	83
6.1-	ETAPA 1: LEVANTAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA.....	84
6.2-	ETAPA 2: MATRIZ FUNÇÃO X SISTEMAS.....	86
6.3-	ETAPA 3: MATRIZ DO QFD.....	89
6.4-	ETAPA 4: MATRIZ CARACTERÍSTICAS X PROCESSOS.....	90
6.5-	ETAPA 5: MATRIZ PROCESSOS X FALHAS.....	91
6.6-	ETAPA 6: MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO.....	92
6.7-	ETAPA 7: ÁRVORE DE FALHAS.....	94
6.8-	ETAPA 8: CÁLCULO DO MTBF.....	95
	CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	110
7.1-	CONCLUSÕES.....	110
7.2-	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTURO.....	111
	ANEXOS -.....	112
	ANEXO 1.....	112
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
	BIBLIOGRAFIA.....	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1-	Adequação ao uso segundo Juran.....	02
Figura 2.1-	Custos, ciclo de vida e confiabilidade.....	13
Figura 3.1-	Curva do tempo de vida.....	20
Figura 3.2-	Curva da banheira.....	30
Figura 3.3-	Curva da banheira modificada.....	31
Figura 3.4-	Categorias das falhas.....	33
Figura 4.1-	Fundamentos de Engenharia de Confiabilidade....	36
Figura 4.2-	Expressões que definem a disponibilidade.....	38
Figura 4.3-	Tipos de manutenção.....	40
Figura 4.4-	Distribuição Logonormal.....	41
Figura 4.5-	Probabilidade da função distribuição.....	45
Figura 4.6-	Correlação dos componentes com as falhas.....	47
Figura 4.7-	Características de falhas dos componentes.....	49
Figura 4.8-	Crescimento da confiabilidade de Duane.....	50
Figura 5.1-	Quadro Geral do Planejamento da Qualidade do Produto.....	54
Figura 5.2-	Exemplo de modelo conceitual para o QFD segundo Akao.....	59
Figura 5.3-	Resumo das etapas da FTA.....	62
Figura 5.4-	Diagrama de Processo.....	63
Figura 5.5-	Estrutura de risco da falha.....	64
Figura 5.6-	Árvore de impacto.....	65
Figura 5.7-	Modelo Conceitual.....	66
Figura 5.8-	Árvore de funções.....	68
Figura 5.9-	Ciclo básico cliente produto.....	68
Figura 5.10-	Estrutura de uma árvore de falhas.....	80
Figura 5.11-	Árvore de falha.....	81
Figura 6.1-	Refrigerador de 2 portas.....	83
Figura 6.2-	Árvore de funções.....	84
Figura 6.3-	Exemplo de sistemas de um refrigerador.....	86

Figura 6.4-	Árvore de falha funcional.....	95
Figura 6.5-	Teste de aderência da amostra.....	104
Figura 6.6-	Custos da não-confiabilidade.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1-	Resultados reais de empresa (MIL-HDBK -217)....	25
Tabela 5.1-	Atividades mal planejadas nas fases do projeto.	55
Tabela 5.2-	Desdobramento das funções a componentes.....	69
Tabela 5.3-	Matriz função X sistemas	69
Tabela 5.4-	Critérios para preenchimento da matriz função x sistemas.....	70
Tabela 5.5-	Matriz da qualidade.....	72
Tabela 5.6-	Critérios para preenchimento da matriz características x processos.....	73
Tabela 5.7-	Matriz características x processos.....	74
Tabela 5.8-	Critérios para preenchimento da matriz processos x falhas.....	75
Tabela 5.9-	Matriz processos x falhas de campo do produto..	75
Tabela 5.10-	Determinação dos pesos dos sistemas.....	77
Tabela 5.11-	Determinação dos pesos das falhas.....	78
Tabela 5.12-	Matriz de priorização.....	79
Tabela 6.1-	Voz do consumidor desdobrada.....	85
Tabela 6.2-	Resultado do desdobramento das funções.....	87
Tabela 6.3-	Matriz função x sistemas.....	88
Tabela 6.4-	Matriz da qualidade (QFD).....	89
Tabela 6.5-	Matriz características x processos.....	90
Tabela 6.6-	Matriz processos x falhas	91
Tabela 6.7-	Determinação do peso dos sistemas.....	92
Tabela 6.8-	Determinação do peso das falhas.....	93
Tabela 6.9-	Matriz de priorização.....	94
Tabela 6.10-	Resultados dos testes e respectivas falhas.....	96
Tabela 6.11-	Dados agrupados em classes.....	99
Tabela 6.12-	Dados linearizados.....	100
Tabela 6.13-	Valores para cálculo dos coeficientes.....	101
Tabela 6.14-	Custos da confiabilidade e não-confiabilidade.	105
Tabela 6.15-	MTBF atual sem investimentos em testes.....	108
Tabela 6.16-	MTBF proposto com investimentos em testes.....	109

RESUMO

Esse trabalho aborda a concepção de um modelo sistemático, para, melhoria do projeto com o objetivo de prevenir, e evitar as falhas durante o período de ciclo de vida, para, com isso possibilitar a tomada de decisão quanto à extensão do prazo de garantia.

Parte-se da voz do consumidor, para o desenvolvimento do modelo. Tem-se como etapa posterior o desdobramento dos dados de entrada, apresentados em forma de tabelas e matrizes. Para isso, nas diversas etapas, estabeleceram-se critérios que direcionam a priorização de fatores críticos, de acordo com o desdobramento das atividades. Outro aspecto refere-se ao tratamento dos dados, com destaque para a importância de se trabalhar com dados brutos, de modo a obter informações relevantes ao projeto do produto. Usa-se como fundamento do modelo algumas técnicas aplicadas a projetos como QFD, FTA e confiabilidade.

A garantia é abordada como uma vantagem competitiva, com implicações para fabricantes e clientes, de acordo com os tipos de garantias que são abordados pelas organizações. A proposta do método é estabelecer elementos que subsidiem o processo de tomada de decisão dentro da organização.

ABSTRACT

This work approaches the conception of a systematic model for improvement of the project with the objective of preventing the flaws during the period of life cycle to facilitate the taking of decision about the extension of the warranty period.

The consumer's voice is taken into account in order to obtain the development of the model. It is had as a posterior stage the unfolding of the entrance data, presented in form of tables and matrixes. For that, in the several stages, certain criteria were established to adress the prioritization of critical factors according to the unfolding of the activities. Another aspect refers to the treatment of the data, with the emphasis on the importance of working with gross data to obtain relevant information to the project of the product. It is used as ground for the model some techniques applied in projects, such as QFD, FTA and reliability.

The warranty is approached as a competitive advantage, with implications for makers and customers, in agreement with the types of warranties that are approached by the organizations. The proposal of the method is to establish elements that subsidize the decision taking process inside the organization.

CÁPITULO 1 - INTRODUÇÃO

Os clientes e o mercado competitivo, são hoje determinantes para as organizações administrarem a qualidade total. Os clientes, cada vez mais selecionam produtos e serviços em função principalmente da qualidade e da confiabilidade que eles oferecem. O novo padrão de exigência leva as organizações a empregar programas de qualidade fundamentados na confiabilidade, para ajudá-las a conhecer as necessidades e desejos de seus clientes. A importância da confiabilidade, como elemento de satisfação do consumidor e diferenciação de produtos e serviços, não pode ser desprezada. A confiabilidade é fundamental para o sucesso das organizações e também para os fornecedores de equipamentos e componentes, com objetivo de satisfazer o consumidor. A organização que adquire uma reputação de baixa confiabilidade paga alto preço no mercado. O custo do reparo ou substituição de produtos falham após a entrega pode fazer a diferença entre ganho e perda ou sobrevivência e falência.

Segundo O'Connor (1988 - pg. 1-17), as organizações estão se conscientizando de que a consequência da baixa confiabilidade de seus produtos são os altos custos com os serviços de garantias e prejuízo à imagem da empresa, por causa da insatisfação do cliente. Segundo Juran (1990), "qualidade é adequação ao uso" (ver figura 1.1), o que sugere que qualidade e confiabilidade devam ser projetadas a custos que o consumidor se disponha a pagar.

O consumidor, que compra um produto aceita eventuais falhas futuras, mas jamais no início de operação ou uso. Esse enfoque é freqüentemente acoplado à garantia do produto.

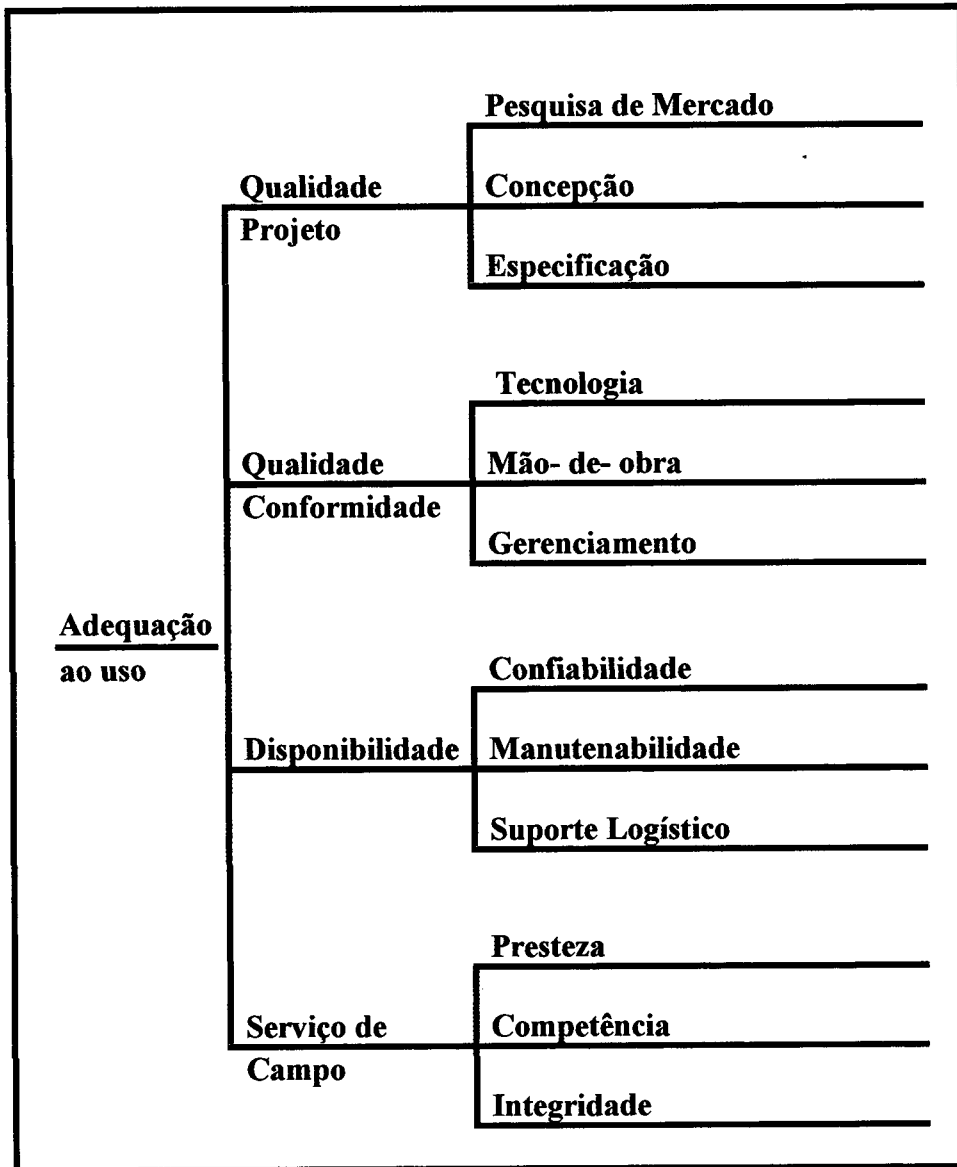


Fig.1.1- Adequação ao uso segundo Juran (1974).

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O desafio da globalização leva as organizações a uma corrida por melhores índices de qualidade e produtividade. Nessa busca incessante do atendimento às necessidades explícitas e implícitas dos consumidores, as organizações vivem

internamente uma verdadeira revolução de âmbito gerencial. São três os aspectos que evidenciam essa fase de mudança: as novas tecnologias, o ambiente de trabalho e suas relações e a necessidade de um sistema de informações apto a identificar e atender às necessidades dos consumidores.

As necessidades básicas vêm, em geral, da voz do consumidor, que leva as organizações a criar e inovar. Atrelado à inovação estão os novos conceitos de tecnologia, materiais e metodologias, empregadas em processos de transformação e manufatura. O processo de inovação enfrenta o risco de estar sujeito a ser copiado por outras organizações do mesmo segmento. Porém, as organizações mais ousadas estarão sempre à frente de seus concorrentes, com vantagens competitivas, que tendem a ditar as novas tendências do mercado. Ao introduzir uma nova tecnologia, a organização deve tomar ações preventivas, para evitar novas falhas, nem sempre de fácil detecção, principalmente quando uma nova tecnologia não é exaustivamente testada. Encontram-se no mercado produtos deficientes que, com o passar do tempo, pioram ressaltando a falta de qualidade e desrespeito para com o cliente. Quando a falha ocorre no início do período de garantia, contribui para denegrir a imagem da organização e a marca do produto, evidenciando falta de qualidade/confiabilidade.

Apesar disso, a maior parte da literatura de confiabilidade se preocupa com fracassos discretos, principalmente de produtos não-reparáveis e nunca expressada em termos de prazo mínimo.

A falha do produto por degradação, em resumo, recebeu pouca atenção apesar da sua importância, determinando apenas características de vida de produtos de uso diário.

Entre os exemplos mais comuns de produtos que falham por efeito de degradações estão os produtos comestíveis e farmacêuticos, pela sua própria natureza, já que usá-los fora do prazo de validade estipulada pelo fabricante afeta diretamente a segurança do cliente.

Se uma organização não identificar as necessidades dos clientes de forma correta, suas próprias potencialidades, limitações, oportunidades e a posição de seus concorrentes, estará sujeita ao fracasso. A visualização de "onde se está" e de "onde se quer chegar" depende de informações precisas e confiáveis. E a estruturação das informações depende da forma e da habilidade de quem a analisa. Alguns métodos para definição dos sistemas de informação mais adequados, baseiam-se no tipo de situação e no nível do impacto sobre a cultura da organização. A escolha do método recai sobre aquele que é mais simples de aplicar e de fácil compreensão. Laudon (1991) cita alguns tipos de sistemas de informação (custo/ benefício, portfólio, *scoring* e organizacional), como métodos que podem ser utilizados de forma isolada ou combinados. Um sistema de qualidade tem por missão prever a correta necessidade de recursos para o desenvolvimento de um produto e ou serviço, o tempo e investimentos necessários.

1.2- OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo geral deste trabalho será identificar os principais fatores que interferem diretamente no ciclo de vida do produto e principalmente, no início de operação. A idéia é compor uma proposta que possa dar subsídios à tomada de decisões para a ampliação do prazo de garantia, fundamentada no tempo de operação do produto sem falhas.

Para alcançar o objetivo geral tem-se os seguintes objetivos específicos:

- encontrar os fatores críticos em relação aos modos de falhas;
- elaborar matrizes de correlação, focados na voz do consumidor;

- determinar os fatores críticos nas etapas do desdobramento do projeto;
- identificar quais são os principais fatores que interferem no ciclo de vida do produto.

1.3- ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 2- é descrito o problema de uma forma genérica.

No Capítulo 3- são pesquisados na bibliografia os modos como vem sendo tratado o assunto.

No Capítulo 4- são focado alguns aspectos de confiabilidade do produto de modo a prevenir as falhas. Também são apresentadas algumas definições de confiabilidade e falhas, com uma breve explicação da curva genérica que representa confiabilidade de um produto (curva da banheira).

No Capítulo 5- são apresentados o modelo conceitual e algumas ferramentas que dão suporte ao mesmo.

No Capítulo 6- mostra-se a efetiva aplicação do modelo em um produto, as etapas e os resultados em forma de matriz. Também os critérios de priorização.

No Capítulo 7- Conclusões, recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2- A IMPORTÂNCIA DA GARANTIA DE PRODUTOS NO CONTEXTO DA COMPETITIVIDADE EMPRESARIAL

Através da inteligência, das idéias e da criatividade do ser humano o mundo mergulhou numa nova era de conhecimentos. Na área dos negócios buscam-se modelos de processos e comportamentos necessários ao fortalecimento da organização, voltados a oferecer integral satisfação a seus acionistas, trabalhadores, fornecedores e consumidores.

A disputa pela conquista de maiores fatias do mercado consumidor, e a melhoria constante dos produtos e serviços, tornaram-se os principais desafios das organizações. Maximizar resultados e minimizar custos tem sido empregado como a melhor maneira de solucionar esses problemas. Entretanto, a falta de qualidade que se reflete nas falhas de produtos verificadas no início de operação tem afetado diretamente o consumidor. Isso leva muitos consumidores a mudar constantemente de marca e modelos até atingir ou alcançar o que realmente procuram. Embora em muitos casos, a mudança se torna penosa para o cliente, por causa do desembolso a que se submete ao adquirir ou reparar um produto, além do incômodo e da perda temporária ou total do produto.

Segundo Juran, (1992), se o fabricante puder criar um projeto com poucos problemas para o usuário ao longo de toda a vida do produto, será alcançada uma vantagem competitiva. Embora o produto possa ter um custo inicial alto, existem clientes dispostos a pagar a mais para obter maior confiabilidade. No comentário de Juran, a afirmação procede, porém, apenas para uma pequena fatia de clientes que tende a pagar mais por um produto confiável. A grande maioria exige produtos confiáveis, no melhor exercício da relação benefício/custo. O investimento que a organização necessita realizar, com o objetivo de manter atualizados os produtos para essa parcela de

consumidores, é muito oneroso. Isso não garante a manutenção dos clientes e, desse modo, produtos diferenciados deixam de ser economicamente atrativos para a organização. Ainda segundo Juran (1992), para pequenos segmentos onde o cliente se propõe a pagar a mais por um produto confiável, o prazo de garantia, em geral, é o mesmo dos concorrentes com produtos mais baratos. Alguns revendedores, contudo, aumentam a duração da garantia, porque eles têm confiança no produto relativamente livre de falhas. O fato de a falha ocorrer em tempos aleatórios torna difícil estabelecer um padrão de detecção aplicável a um modelo conhecido de rápida solução.

Um fator complicador é o fato de produtos não terem as características que descrevem o desempenho, de acordo com as expectativas dos clientes. Algumas características, quando não são identificadas ou tratadas no início do projeto com a importância necessária, acarretam riscos para os clientes, que não têm suas expectativas atendidas. E reagem através do seu poder de compra. As organizações, pressionadas pelos clientes, vêm tentando minimizar as falhas de seus produtos, empregando técnicas que previnem e minimizam as falhas durante o seu ciclo de vida útil. Entre elas, destacam-se : análise do modo e efeito das falhas (FMEA) e análise da árvore de falhas (FTA). Em linhas de montagem, tem-se controles que visam evitar que os produtos com problemas cheguem ao cliente. Entretanto, nem sempre os controles do produto são 100% por cento confiáveis, já que alguns produtos defeituosos não são detectados e mesmo assim, são comprados pelos clientes. A falha, ao se manifestar, pode se caracterizar como uma falha crítica ou não, dependendo da expectativa do cliente. Isso está associado à confiabilidade do produto, durante o ciclo produtivo para o qual foi destinado. O produto, ao falhar, pode não caracterizar a perda de qualidade, quando são reparáveis através de intervenções fáceis; nesse caso, tratadas apenas como desvios. Entretanto, aos olhos do cliente, isso é associado à falta de

qualidade, em outras palavras, constata que adquiriu um produto com falhas ,deficiente, não-confiável. A reclamação das falhas, durante o período de garantia estipulada pelo fabricante, comprova essa constatação. Nesse período, o fabricante espera que as falhas sejam mínimas, expectativa que ao não se realizar, aumenta os custos pós venda , através de reparo, troca de produtos e pequenos consertos de peças.

O processo pós-venda depende da política adotada pela organização, variando de uma para outra quanto a postura frente a adversidade dos problemas . Uma política voltada para o cliente certamente estimula o ganho de confiança e diretamente firma a marca no mercado.

Os novos produtos despertam opiniões críticas dos clientes, através da comparação com produtos similares. Os consumidores têm assimilado percepções diferentes, tornando-se cada vez mais exigentes em relação a qualidade, quanto a qualidade, eficiência, durabilidade e prazo de garantia.

O cliente espera que durante a garantia, para uma eventual falha do produto, o fabricante se empenhe em resolvê-lo rapidamente. Isso pode ser um diferenciador entre ganho ou perda da confiança por parte do cliente. Identificar a falha , corrigir e agir prontamente são ações que minimizam os efeitos negativos sobre o cliente. De uma forma geral, a maioria das empresas estipula o tempo de garantia do produto em um ano.

Segundo Berke e Zaino, da Kodak Company (1991), a garantia é uma obrigação contratual oferecida por um fabricante e ligada diretamente à venda de um produto . A garantia específica é aquela em que o fabricante se compromete a retificar ou compensar o comprador por determinados defeitos ou falhas no produto, por um período de tempo especificado ou uma quantia de uso após a venda. Uma garantia, tradicionalmente, oferece uma restituição através da substituição ou reparo, livre de gastos para o comprador, uma vez que o produto não atendeu às

especificações. O valor ou importância de uma garantia depende do ponto de vista em que é medida ou percebida. Compradores necessitam de garantias, para assegurar que o fabricante assuma responsabilidades e compromissos com o seu produto, por um período de tempo especificado. Entretanto ainda assim há certo ônus para o comprador, visto que o fabricante espera certo número de reclamações ainda em garantia e inclui esses custos no preço final do produto.

Fabricantes também utilizam garantias para se protegerem de aplicação indevida do produto pelo comprador. Grandes garantias servem como um indicador da confiabilidade do produto e podem aumentar as vendas. O período de tempo de uma garantia pode, em geral, ser influenciado pela competição do mercado. Dois tipos de políticas de garantias existentes refletem isso: uma possui uma combinação da garantia de livre substituição com a política pro rata e, a outra, é a garantia de *fleet*, descritas a seguir:

- garantia de livre substituição: sob esta garantia, o fabricante paga o custo inteiro de reparo ou substituição, se o produto falhar antes de encerrar o prazo de garantia. Essa política de garantia pode, ainda ser dividida em :
 - política de substituição livre ordinária: nessa política, o item substituído ou reparado possui uma garantia igual ao tempo restante da garantia original;
 - política de substituição livre ilimitada: nessa política, a substituição do item conduz à uma garantia idêntica a garantia original feita durante a compra.
- política pro rata : nessa política, o custo de substituição ou reparo de um produto para o comprador depende do tempo de uso do produto quando ocorreu a falha;
- política combinada : nessa política, combina-se a garantia de livre substituição com a política pro rata. É óbvio que, para o comprador é melhor a política de garantia de livre substituição, enquanto, para o fabricante é melhor a política

pro rata. Assim, uma política que envolva um período inicial de substituição livre seguido por um período pro rata é um compromisso razoável tanto para o fabricante quanto para o usuário;

- garantias *fleet*: nessa garantia, cobre-se uma população de itens e portanto é apropriado para quando um grande número de itens é vendido a um comprador. Nessa política o fabricante garante que a vida média de uma população de itens reunirá ou excederá uma vida média negociada;
- garantias implícitas: as garantias dadas pelo fabricante podem ser implícitas pelas ações, de acordo com essas cláusulas e o fabricante pelo mero ato de venda dá as seguintes garantias:
 - garantia geral de adequação ao uso, aplicada aos propósitos para os quais um dado produto é vendido (*Merchantability*, comercialidade);
 - uma garantia extra de adequação ao uso, com aplicações especiais para condições diferenciadas de uso desde que o vendedor tenha conhecimento dessas condições diferenciadas.
- garantias expressas incluem promessas verbais; demonstrações do produto em especificações; catálogo e circulares; conteúdo de anúncios; marcas no produto e garantias escritas;
- garantia de produtos industriais é extremamente condicionada ao perfeito entendimento entre comprador e vendedor, especialmente quanto à perfeita compreensão do uso a ser dado ao produto; os contratos tendem, cada vez mais, a cobrir qualquer prejuízo que o produto cause ao comprador;
- garantias de produtos de consumo podem incluir apenas peças e mão-de-obra; essa garantia pode ser, em tese, delegada ao comerciante, o que é de legalidade duvidosa; as garantias podem relacionar os casos em que perde o valor (uso indevido, por exemplo);

- garantia de confiabilidade é usualmente quantificada pelo TMEA tempo Médio Entre Avarias (TMEA) ou Tempo Médio Entre Falhas (MTBF);
- danos indiretos podem usualmente ser indenizados apenas quando haja menção expressa no contrato;
- um maior prazo de garantia pode criar vantagens; um produto pode ser eventualmente encarecido com uma garantia mais longa; competidores podem aumentar a garantia oferecida; a substituição pode ser mais barata do que o reparo;
- garantias com melhoria da confiabilidade (Juran ,1992). Em uma garantia com melhoria da confiabilidade , o fabricante concorda em realizar serviços de reparo em produtos a um preço previamente estabelecido por períodos determinados . Os objetivos são três:

- minimizar o custo do ciclo de vida total para o cliente;
- proporcionar incentivos para o fabricante incorporar inicialmente a confiabilidade alta e melhorar a confiabilidade com o tempo;
- estimular a cooperação entre o fabricante e o cliente, para melhorar a confiabilidade.

Entretanto, o estabelecimento de garantias em contrato não garante a satisfação dos clientes quando o produto falha, principalmente no início da operação.

Outro aspecto diz respeito à detecção, por parte da empresa, de sistemas ou peças de um produto reconhecidamente com defeito. Nesse caso, a organização convoca clientes com o objetivo de substituí-los ou repará-los gratuitamente, recurso chamado de *recall*, (ASQ,1985). Esse procedimento se aplica, freqüentemente, mas não necessariamente, a itens que afetam a segurança do usuário. Os *recalls* mais volumosos e custosos têm sido feitos pela indústria automobilística.

Usualmente, os clientes são convocados por correspondência ou através de anúncios, em que são citados os modelos e a faixa

dos números de série dos produtos defeituosos. O procedimento requer uma perfeita rastreabilidade por parte do fabricante, afim de identificar, os produtos que foram fabricados fora do padrão especificado. Os custos de um *recall* são, em geral, muito elevados, pois envolvem não só os custos de reparo ou substituição, mas também todos os custos envolvidos com a localização dos clientes atingidos; por essa razão, as organizações procuram investir muito em previni-los, através de cuidadosas avaliações do projeto e do produto antes do seu lançamento no mercado. Os *recalls* prejudicam, em tese a reputação do fabricante e do produto, mas é um recurso necessário, já que os riscos envolvidos na manutenção dos produtos defeituosos poderiam sujeitar as organizações a custos muito mais elevados, decorrentes de demandas judiciais (especialmente em casos de acidentes).

Diminuir a não-confiabilidade é melhorar o desempenho no campo, é chegar mais próximo da satisfação do consumidor.

Outro aspecto moderador no aumento da confiabilidade refere-se aos custos, que têm a finalidade de fornecer à toda a direção da empresa um instrumento de decisão, para otimizar a qualidade e minimizar os custos, através de um adequado emprego de recursos. Obviamente, as atividades de programa de confiabilidade podem ser caras, principalmente, quando o produto é complexo ou envolve uma tecnologia ainda não experimentada. De fato, a realização da confiabilidade não ocorre acidentalmente, tudo deve ser planejado, medido, garantido, o que custa dinheiro. Os custos da confiabilidade são formados por quatro categorias:

- prevenção, são custos associados às atividades de desenvolvimento, implementação e manutenção do sistema da qualidade, com a finalidade de assegurar conformidade às especificações da qualidade a custos menores, que decorrem da prevenção de defeitos futuros;

- avaliação, são custos associados às atividades de controle e avaliação, de teste de vida, controle de produtos, com a finalidade de assegurar sua conformidade com as especificações;
- falhas internas, são todos os custos gerados por produtos componentes e materiais que não atendem às especificações da qualidade antes de serem entregues aos clientes;
- falhas externas, são os custos da não-confiabilidade, custos de garantia, reclamação de cliente e processos, entre outros.

Segundo O'Connor (1991), os custos diretos de falhas normalmente podem ser calculados com bastante precisão, assumindo níveis de confiabilidade e relacionando-os aos processos de produção, embora os custos para alcançar esses níveis sejam difíceis de serem previstos (ver figura 2.1).

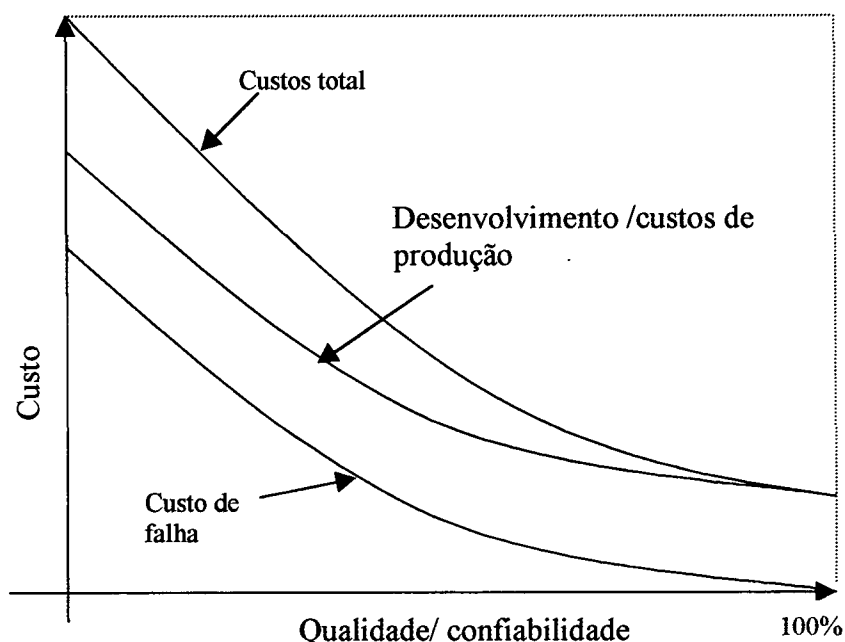


Figura 2.1- Custos, ciclo de vida e confiabilidade (visão moderna). [O'Connor, 1991]

Um outro indicador que possibilita avaliar se uma operação está realmente criando valor através da maximização do uso de recursos disponíveis, ou seja, todo capital empregado é

o EVA (Valor Econômico Agregado). Segundo a Multibrás, 1999, muitas operações e algumas vezes, companhias inteiras têm pouca ou nenhuma idéia do montante dos investimentos envolvidos. Desse capital não se sabe qual o resultado que poderá ser gerado fora da operação e principalmente, se a operação o emprega de forma a realmente agregar valor à companhia.

O EVA leva em consideração dois aspectos:

- o volume de capital alocado para a sua operação;
- os verdadeiros custos de capital empregados na sua operação.

Dessa forma, o cálculo do EVA equivale a:

$$\text{EVA} = \text{Margem líquida depois do Imposto de Renda} - \text{Custo do Capital.}$$

No cenário atual, os fabricantes tendem a buscar um diferencial competitivo, necessário para estar à frente dos concorrentes. Estima-se que de, uma organização para outra, esses diferenciais sejam, no máximo, dois: inovação e rapidez em concretizar as inovações, ambos condicionados aos custos envolvidos. Conseguir identificar as necessidades dos consumidores e direcionar as ações, de forma a atendê-las, tudo convergindo para o projeto com rapidez e eficiência a custos acessíveis: são os esforços que melhoram o desempenho no campo e chegam mais próximos da satisfação do consumidor.

Para isso, o processo decisório na organização é feito através da coleta e seleção de informações, a fim de garantir que as decisões tomadas conduzam a organização, à direção desejada. Dessa forma a organização deve aproveitar as oportunidades que irão resultar em incrementos ao valor da organização.

As informações fragmentadas, além de pobre e pouco eficazes, tornam perigosa a tomada de decisão. Não basta, no entanto, planejar bem, deve-se buscar continuamente a melhoria. Sabe-se que certos resultados, como os de imagem e reputação, não se verificam de imediato, mas a longo prazo. Procurar manter respeito à credibilidade é o ativo fundamental das organizações

e, provavelmente, seu mais importante patrimônio. A imagem que é atingida por falhas nos produtos da organização, pode significar perdas de consumidores, de receitas e de mercado. É por essa razão que existe a necessidade de se estabelecer critérios bem definidos para um melhor entendimento das falhas e dos custos envolvidos. Desse modo, as decisões devem ser tomadas apoiadas nos elementos e critérios que compõem a cadeia de criação do produto. O enfoque deste trabalho é estabelecer elementos que, em cada etapa da criação do produto, forneçam subsídios para a tomada de decisão focada na voz do consumidor.

CAPÍTULO 3- FORMAS COMO VÊM SENDO ABORDADAS AS FALHAS EM PRODUTOS

Segundo ASQ(1985), nos EUA e na Europa ,o número de ações judiciais contra fabricantes, por parte de consumidores que alegam ter sofrido danos ou ferimentos , tem aumentado extraordinariamente. Nos EUA não existe limitação quanto ao valor de indenizações ou quanto ao tempo decorrido após a aquisição do produto.

Neste trabalho será abordada a confiabilidade como sinônimo de garantia. Segundo o dicionário Aurélio(1986), garantia é o documento com que se assegura a autenticidade ou boa qualidade de um produto ou serviço, que se assume junto ao comprador ou usuário. A confiabilidade, genericamente, é a qualidade em função do tempo.

3.1- SATISFAÇÃO DO CLIENTE

Segundo Rooney, da Foxboro Company (1994), a competição atualmente é intensa e globalizada. Ontem dominava preço e desempenho. Hoje está em alta a qualidade e, amanhã, estarão a confiabilidade e os serviços.

Na última década, houve maior ênfase na qualidade do que nos cinquenta anos anteriores. A satisfação do cliente é geralmente apresentada em termos de qualidade, que apresenta parâmetros de confiabilidade e fator de desempenho a serem utilizados como medida direta quantitativa de satisfação do cliente. Menores falhas de campo significam menores reclamações, um maior tempo médio entre falhas (MTBF)e, conseqüentemente, um maior fator de desempenho. Geralmente, hoje

para se determinar a satisfação do cliente são feitas pesquisas, procedimento susceptível a três tipos de erros (Rooney,1994):

- objetividade do levantamento: o levantamento deve ser feito por um departamento de pesquisa especializado e desligado da empresa, para garantir a objetividade. Se for feita por outras áreas, como marketing, produção ou produtos, a pesquisa pode ser condicionada a seus pontos-de-vista;
- validade dos dados: o tamanho da amostra e seu custo, normalmente, impedem de se questionar todos os clientes, por essa razão é indicada a técnica de amostragem. Contudo, existe uma incerteza em relação à aplicação de técnicas estatísticas. Primeiro, porque é raro ter uma aderência com alta taxa de respostas. Uma baixa taxa de respostas sempre causa questões sobre a utilidade dos dados, ou seja, podem receber respostas positivas apenas aqueles com experiências positivas e os que não respondem podem ignorar a pesquisa devido a falta de satisfação com o produto;
- conformidade da utilidade dos resultados: é fundamental, igualmente, que na análise dos dados sejam considerados os erros de medição existentes no espaço amostral e a representatividade do mesmo dentro do todo. As anomalias detectadas devem ser tratadas à parte ou, até mesmo, descartadas.

Uma das vantagens da pesquisa é proporcionar direcionamento quanto a satisfação do cliente , em relação ao produto ou serviço da organização. Porém, os erros na pesquisa, comentados por Rooney (1994), podem indicar uma direção errada para a tomada de decisão. O cuidado principal deve residir no objetivo da pesquisa e na sua finalidade. A partir do objetivo, deve-se desdobrar um questionário para entrevistas e selecionar o público-alvo. Embora existam empresas especializadas em pesquisas deve-se evitar as pesquisas formatadas, pelo fato de os questionários serem únicos, o que pode não se adequar ao objetivo da organização.

Além dos erros comentados por (Rooney,1994), as organizações podem incorrer em outros erros ao selecionarem as empresas de pesquisas. Esses erros são causados porque:

- a maioria das empresas nacionais de pesquisas são associadas a empresas estrangeiras, e as metodologias são voltadas a outro tipo de consumidor;
- os dados não são tabulados por metodologias próprias, são enviados a empresas associadas, sendo analisados e pontuados conforme a ótica do consumidor do país de origem.

Antes de contratar uma empresa de pesquisa , portanto, é preciso conhecer a metodologia ou outras maneiras de identificar a satisfação dos clientes .

3.2 - UM MÉTODO PARA PREVER AS FALHAS ACUMULATIVAS DE PRODUTOS DURANTE O PERÍODO DE GARANTIA

No projeto e fabricação de produtos, um importante critério é o tamanho do período de garantia medido em dias, meses ou anos. É importante conhecer o número esperado de falhas durante o período de garantia. Sarawgi N. e Kurtz K.S. (1995) fornecem uma ferramenta para prever as falhas acumuladas, para um período de garantia, baseado nos dados de testes de vida de laboratório e nos dados da taxa de uso para produtos, que são operados durante uma fração limitada do tempo total disponível. Sarawgi N. e Kurtz K.S. (1995) fazem uma junção da distribuição da taxa de uso e da distribuição da vida de laboratório, para traduzir o tempo de uso em dias, meses e ano e não em termos de severidade de uso.

Ao falar em garantia, entende-se que se trata de uma obrigação contratual oferecida por um fabricante, que concorda em reparar ou compensar o comprador por certos defeitos ou falhas no produto, por um período de tempo em dias, meses ou

anos ou uma quantia de uso. Mas, para produtos residenciais como máquinas de lavar, secadoras, televisores, condicionadores de ar, os resultados de testes do tempo de vida do produto advêm de períodos de tempo laboratorial contínuos medidos em dias ou meses. No campo, o produto não é solicitado continuamente, mas apenas uma fração do tempo, ou seja, uma taxa de uso. Há uma necessidade de traduzir o tempo de vida no campo em dias ou meses e, desta maneira, fornecer um prazo de garantia adequado. Normalmente, o período de garantia é predito por dividir a vida média de laboratório (L) pela taxa de uso (r), normalmente estimada em horas/dia ou horas/ano. Esse enfoque, nem sempre é verdadeiro, devido a vida média de laboratório não definir unicamente o modelo de confiabilidade do produto, pois a vida do produto se adequa à uma distribuição assim como à taxa de uso. Apenas para a distribuição exponencial que possui uma taxa de falha constante o modelo é válido, mesmo assim, só é aplicável quando falhas aleatórias acontecem onde nenhuma causa é responsável pela falha, tornando o modelo não aplicável na maioria dos casos, haja vista que sempre existem causas aleatórias.

Os modelos propostos que solucionavam esse problema possuíam duas considerações para ter validade:

- as distribuições de vida e taxa de uso podem ser modeladas com algumas distribuições estatísticas conhecidas;
- se a distribuição conjunta das distribuições for integrada.

$$\left[f(L) = \int f(rL) \cdot r \cdot f(r) dr \right] \quad (3.1)$$

O método sugerido por Sarawgi N. e Kurtz K.S. (1995), elimina a consideração de uma adaptação da distribuição da taxa de uso ao modelo logonormal, tornando o modelo mais simples. O método para analisar as falhas acumuladas é utilizado através da fórmula:

$$F(w) = \phi \{ \ln w - \ln L_{50} \} / \sigma_L \quad (3.2)$$

onde:

- $F(w)$ é qualquer período de garantia;
- l_{50} = a mediana da distribuição de vida;
- r_{50} = a mediana da distribuição da taxa de uso;
- ϕ = distribuição normal unitária.

$$\sigma_L = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_1^2} \quad (3.3)$$

onde:

- σ_r = desvio padrão da distribuição da taxa de uso;
- σ_1 = desvio padrão da distribuição de vida.

Através do modelo de Sarawgi N. e Kurtz K.S.(1995), pode-se prever falhas durante todo o ciclo de vida como mostra a figura 3.1.

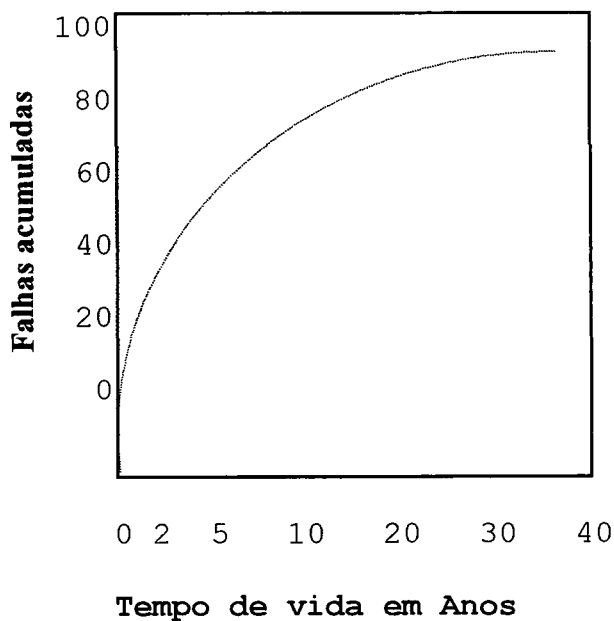


Fig. 3.1- Curva do tempo de vida (aplicado pelo modelo). [Saragwe e Kurtz, 1995]

3.3 - PROCEDIMENTOS DE CONFIABILIDADE COM DADOS REAIS DE CAMPO

Segundo Baxter e Tortorella (1984), é desejável estimar os parâmetros da distribuição do tempo de vida de um dado componente, visto que observações baseadas em dados de campo são, de alguma forma incompletas. Por exemplo: o tempo de vida registrado em campo de um produto defeituoso pode incluir um período de duração desconhecida do componente que não estava em uso, considerando que o componente pode ser parte de um sistema maior, sendo que as análises dos modos de falhas revelam apenas os módulos contidos do componente defeituoso, onde a distribuição do tempo de vida pode ser afetada por um fator ambiental não observado.

Na prática, os dados analisados são freqüentemente os de campo, que são reunidos para o propósito de análise estatística e, na maioria das vezes, são de alguma forma incompletos.

Fatores que fazem os dados de campo incompletos, são:

- tempo de garantia: um fabricante utiliza normalmente uma comparação entre os dados de um sistema, que são distribuídos ao cliente, e os dados do sistema falhado, que retornaram. Contudo, esse intervalo inclui períodos quando o sistema não estava em uso, como tempo de armazenamento, tempo até o reparo, entre outros;
- mascaramento: um sistema é desdobrado em vários subsistemas e cada subsistema é desdobrado em vários componentes. O fato de a falha ocorrer no componente leva à troca do módulo inteiro (subsistema), que é de fácil substituição. Nem sempre é realizada uma análise do componente falhado contido no módulo substituído. Com isso, só se conhece os dados da falha do módulo e não do componente e suas causas. Isso ocorre muito com produtos eletrônicos;
- ambientes desconhecidos: a distribuição do tempo de vida de um componente é afetada pelos ambientes em que os componentes

estão operando . A taxa de falha aumenta sob diversas condições de *stress*, como temperatura, voltagem, umidade, entre outras. De forma geral, esquece-se de colher dados sobre o ambiente do componente falhado;

- fator de desempenho: o conceito de fator de desempenho é implícito em Juran (1974), onde a satisfação do cliente é definida como " real experiência do consumidor" dividido por " expectativas anteriores do cliente ".

Juran (1974) define o fator de desempenho em termos de tempo médio entre falhas(MTBF), com o MTBF equivalente às expectativas do cliente e MTBF real/ campo, às experiências reais do cliente.

$$\text{Fator de Desempenho} = \frac{\text{MTBF real}}{\text{MTBF predito}}$$

As predições da confiabilidade, por mais de três décadas, sofre com uma discrepância entre o MTBF predito e o real MTBF ou de campo demonstrado. Isso considera o problema sob um outro aspecto, em que as discrepâncias de predição são usadas como uma ferramenta para:

- entender o desempenho de campo;
- ordenar e priorizar as respostas para o desempenho de campo.

3.4 - PROJETO ROBUSTO PARA TECNOLOGIA DE USO DUPLO

Segundo Engwall (1991), 85% do ciclo de vida de um produto é determinado no projeto e, para isso, a indústria necessita:

- envolver confiabilidade, manutenibilidade e manufatura no projeto para garantir manufaturabilidade, confiabilidade, manutenibilidade e producibilidade (controle de processo) no produto;
- utilizar projeto de processo e produto integrado(IPPD).

Os benefícios correspondem a 50% de redução no custo do ciclo de vida e o tempo para colocar o produto no mercado.

Os japoneses dedicam mais de 80% de sua pesquisa de desenvolvimento (P&D) para a manufatura, enquanto os EUA dedicam menos de 10%, de onde se concluem que os japoneses estão interessados em pura ciência de desenvolvimento de produto. O projeto de processo e produto integrado (IPPD) para eliminar os problemas de manufatura e para projetar a manufaturabilidade e producibilidade. Para isso acontecer deve-se:

- projetar para a padronização, menor número de partes;
- projetar para a modularidade;
- projetar para a flexibilidade, adaptabilidade e projeto robusto;
- utilizar processos e materiais confiáveis - considerando a variabilidade;
- empregando engenharia simultânea;
- empregar metodologias e ferramentas científicas;
- projetar para parâmetros específicos de controle do processo σ ;

Para alcançar esses objetivos, são exigidas as transições a seguir:

- desenvolvimento de projeto para custo x projeto para o desempenho;
- construir através de grupos ou equipes de trabalho x individualmente;
- desenvolvimento do empregado integrado x empregado funcional;
- entendimento do cliente como um membro do grupo x mínimo envolvimento do cliente em atividades diárias;
- desenvolvimento concorrente x desenvolvimento serial;
- simulação x protótipos;
- base de dados computadorizados x documentos em papéis;
- certificação do fornecedor x inspeção de chegada;

- modelo de custo com definição do produto/processo x projetar para custos não planejados;
- critério de defeito 6σ x revisão de projeto;
- controle de processo x inspeção de produto;
- processos aprovados x novas tecnologias.

Segundo Pecht da CALCE EPRC(1993), alguns dos atuais métodos utilizados de predição da confiabilidade(como a MIL - HDBK - 217) têm uso e resultados extremamente controversos. Com a competição global para menores custos e menor tempo para colocar o produto no mercado, fabricantes e clientes estão discutindo a validade desses métodos em seus programas de confiabilidade.

A predição tradicionalmente é vista como o cálculo da taxa de falha ou MTBF devido ao seguimento da norma MIL - STD - 785, que lista a predição da confiabilidade como um número de tarefas a serem desenvolvidas. Mas o grande valor potencial da confiabilidade é avaliar:

- quando (tempo de falha);
- onde (lugar da falha);
- por que (mecanismo da falha);
- como (modo da falha).

A metodologia usada para avaliar a confiabilidade de um produto deve ser apropriada ao objetivo pretendido da avaliação dentro do projeto do produto. A seguir, tem-se algumas formas de avaliação, como:

- se uma avaliação da confiabilidade de um produto é necessária durante um teste de laboratório ou no campo, então, é exigido um método que precisamente prediz a confiabilidade, inclui uma indicação das incertezas e não exige hipóteses irreais, como taxa de falha constante;
- se um guia de projeto é desejado, então, é exigida uma metodologia que precisamente modela os relacionamentos de causa e efeito da confiabilidade (ex. carga / stress).

A norma MIL-HDBK-217 (*reliability prediction for electronic systems*) comenta que uma indicação das incertezas ou precisão não é disponível e o *handbook* não é apropriado para a aplicação 1 e também não é apropriada para a aplicação 2, visto que ela é baseada em curvas, assumindo taxa de falha constante. A tabela 3.1 mostra a diferença do MTBF predito através da norma MIL-HDBK-217 (*reliability prediction for electronic systems*) e os resultados reais de campo para várias empresas:

EMPRESA	MTBF MIL-HDBK-217	MTBF Real	EMPRESA	MTBF MIL-HDBK-217	MTBF Real
A	811	98	F	2304	6903
B	1269	74	G	2450	472
C	1845	2174	H	2840	1160
D	2000	624	I	3080	3612
E	2000	51			

Tabela 3.1- Resultados reais de empresas. [MIL-HDBK-217-
reliability prediction for electronic systems]

A predição da confiabilidade para sistemas eletrônicos está em um nível mais avançado. Os métodos utilizados para prever a confiabilidade através da MIL-HDBK-217 (*reliability prediction for electronic systems*) dependem das hipóteses feitas. Um outro método menos usado para predição da confiabilidade é o uso de *experts* para julgamento. Mas ambos os métodos exigem verificações posteriores. Essas verificações requerem testes. Quando a confiabilidade predita é real, o tempo e o custo de teste é proibitivo. Então, testes acelerados são necessários. Contudo, testes de vida acelerado têm um problema básico: a compressão real do tempo é limitada pela diferença entre o planejamento do projeto e o operacional. A precisão dos resultados dos testes de vida acelerados, soma-se a dependência do modelo físico assumido para relacionar o tempo acelerado, ao tempo real.

A consequência natural é tentar incorporar estes conceitos dentro de uma estrutura Bayesiana, onde as

informações de predição são usadas para definir a distribuição prévia e os dados reais de testes, seja em tempo real ou acelerado, utilizados para obter uma distribuição posterior.

3.5 - TEMPO DE VIDA DE UM PRODUTO

Segundo Prescott (1995), a vida de um equipamento quem deve definir é o usuário, contudo, muitas decisões devem ser tomadas anteriormente.

A tarefa mais difícil a ser considerada é prever as ameaças de inovação tecnológica para os próximos anos, o que se torna cada vez mais complexo devido as rápidas mudanças que estão acontecendo.

As gerências priorizam os projetos de acordo com os seus objetivos centrais e alocação de recursos. Uma decisão que afeta o orçamento da área pode ter reflexo indireto, mas de significativo efeito na vida de um equipamento. Isso leva a clarificar que o planejamento da vida de um equipamento não é uma tarefa fácil. As estratégias de aquisição de materiais e equipamentos influenciarão a vida do produto. A precisão das especificações de engenharia também exercem influência sobre a vida de um equipamento. Requisitos quantitativos são fáceis de especificar e podem ser testados se, tempo e custo não forem proibitivos. Para contratos entre clientes e fornecedores, o critério de vida pode ou não ser exigido contratualmente. Um dos requisitos contratuais normalmente utilizados é exigir teste de vida, mas quando impraticável, garantias podem também ser apropriadas para contrabalançar o risco. Um efetivo programa de teste em confiabilidade é caro, mas é um preço que vale pagar, já que reduz significativamente o risco de se aceitar um produto defeituoso.

Mais claramente definem a vida dos produtos as modernas técnicas de projeto, próprias de classe mundial, que determinam com mais precisão suas margens de projeto, análise de *stress* através de elementos finitos e modelagem do ciclo *duty*, combinado com os melhores procedimentos de coleta , registro e análise de dados.

Quando o contrato especificar que o fornecedor se encarrega de assumir as tarefas de manutenção e os custos envolvidos há um incentivo adicional para entregar ao cliente produtos duráveis, confiáveis e de fácil manutenção , visto que os custos de suporte consumirão uma boa parte dos seus lucros.

A filosofia de projeto modular também favorece o fornecedor por facilitar a tarefa de manutenção, diminuindo custos envolvidos com manutenções demoradas.

Outro aspecto que influencia a confiabilidade de um produto é o tempo de armazenagem . Alguns procedimentos melhorados de armazenagens como, por exemplo, o uso de desumidificadores, mostraram ser bem eficientes para a indústria eletrônica. A distribuição também é outra fonte a ser levada em consideração para a confiabilidade do produto.

3.6- CURVA DA BANHEIRA MODIFICADA

Segundo English J. R. , Yan L., e Landers L. T. (1995), o objetivo final de um produto é atender aos requisitos de desempenho de determinada função. Portanto, existe um requisito para minimizar a probabilidade de falhas visto que elas simplesmente aumentam os custos e inconveniência, e ameaçam a segurança do público. Com o aumento da competição para maior qualidade e desempenho e menores custos , as expectativas dos clientes aumentam a cada dia. Falhas de produtos vão além dos custos envolvidos com reparo ou substituição: elas causam perda

da confiança do cliente e, conseqüentemente, prejuízos a imagem da empresa.

A indústria eletrônica é o segmento industrial que mais cresce, por isso, é importante que se desenvolva um produto com um ciclo de vida adequado, alta qualidade e baixa taxa de falha no período de tempo especificado pelo fabricante, através das garantias. É por isso que *Burn-in* e *Environmental Stress Screening* - ESS (Triagem de Stress Ambiental) estão se tornando cada vez mais populares na indústria comercial de produtos eletrônicos, já que os consumidores estão cada vez mais sensíveis às falhas que ocorrem na vida útil de um produto em campo.

Testes são utilizados empiricamente, para verificar a confiabilidade de um produto. Os testes são normalmente realizados nas fases preliminares do projeto do produto, para assegurar que reúna os padrões do projeto. Em teste de vida, o produto é posto em operação sob condições ambientais especificadas (temperatura, vibração, umidade, etc.), os tempos de falha são registrados e os dados são utilizados para estimar ou verificar a confiabilidade de um produto. Mas infelizmente, os testes são limitados por causa dos gastos e tempo envolvidos.

O ESS (*Environmental Stress Screening*) exige que a unidade seja submetida a condições ambientais estressantes. Ele expõe falhas que são tipicamente observadas a uma taxa excessiva durante a vida útil de um produto. Esses tipos de falhas são chamadas falhas latentes (um defeito que não é detectável por inspeção ou testes funcionais até que ele seja transformado em uma falha *patent* através da aplicação do ESS). *Burn-in* é designado para detectar falhas de mortalidade infantil que são evidenciadas durante o início da vida de um produto. Essas falhas são chamadas falhas *patents* (uma condição que não reúne as especificações e é detectável pela inspeção ou teste funcionais sem a necessidade de ESS).

Se as taxas de falhas nas fases preliminares de vida de um produto são tão altas e não é possível fazer significantes melhorias no processo de manufatura, duas alternativas existem; fazer 100% de inspeção ou aplicar um *Burn-in*. *Burn-in* é uma operação de triagem que expõe o produto a variações de temperatura, dentro das especificações por um curto período de tempo. O período para realizar um *Burn-in* é preditivo de acordo com o número de falhas removidas. Por isso, o melhor período para *burn-in* deve ser estimado-se levando-se em consideração os custos envolvidos.

Defeitos, são inerentes ou induzidos por fragilidade, ou falhas em um produto, devido a materiais não-padronizados, falhas de processo e muitas outras causas. O *ESS* (*Environmental Stress Screening*) tem sido usado amplamente para reduzir ou eliminar a ocorrência de defeitos não relacionados ao projeto e expor excessivos *stress* ambientais, tais como vibração e ciclo térmico por um determinado período de tempo e eliminar as falhas antes que o produto seja entregue ao cliente. O objetivo do *ESS* é fornecer um benefício econômico de um produto com maior qualidade, menores reclamações de garantia, menores taxas de reparo no campo e maior satisfação para o cliente.

A diferença entre *Burn-in* e *ESS*, embora ambos tenham a mesma meta (reduzir a ocorrência de falhas precoces), está no fato do *ESS* expor a unidade (componente/subsistema) a precipitar um tipo específico de falha latente para excessivos extremos ambientais, além dos limites de especificação, para um intervalo de tempo de vários minutos a poucas horas. Já, o *Burn-in* é empregado para o sistema todo ou unidade, sob condições ambientais normais (dentro das especificações), em níveis de *stress* menores e por um intervalo de várias horas ou poucos dias.

A curva da banheira é uma clássica análise que descreve as falhas *pattern* da vida de um produto, através da função taxa de falha $h(t)$. Uma típica curva da banheira é mostrada na figura 3.2.

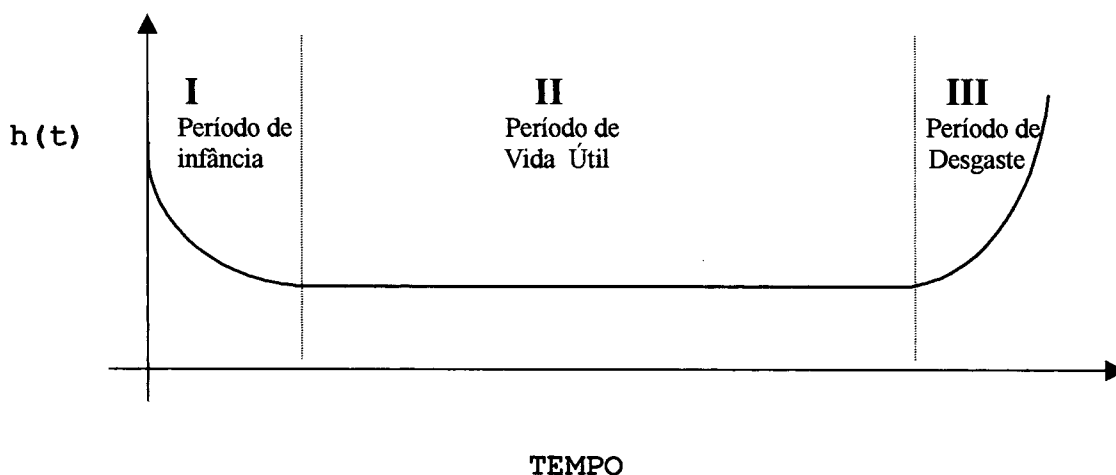


Fig. 3.2 - Curva da banheira. [Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1995.]

A curva é caracterizada por três regiões distintas chamadas períodos de infância, vida útil e desgaste, com cada região correspondendo a um específico típico de falha. Durante a vida precoce de um produto, há falhas causadas pela fragilidade inicial ou defeitos em materiais, projeto defeituoso, materiais não-normatizados, controle de qualidade e fabricação pobres, e danos ou erros de montagem. Esse período também é chamado de período de falhas precoces ou mortalidade infantil ou *Burn-in*. Falhas precoces são caracterizadas por uma alta taxa de falha no início da sua vida no campo. Essas falhas são normalmente detectadas por um *Burn-in* ou um outro processo. No segundo período a taxa de falha é aproximadamente constante, e neste período conhecido como vida útil, a taxa de falhas é aproximadamente constante, já que essas falhas não podem ser eliminadas através de testes e são causadas por aplicações de *stress* além das especificações de projeto como voltagem instável, flutuações de temperatura além do previsto, sobrecargas, etc. O terceiro período também conhecido como período de desgaste, é aquele em que o produto falha devido a fadiga.

O ponto em que começa o desgaste pode ser dramaticamente reduzido quando houver rápido surgimento de tecnologias

substitutas. Essa curva é característica de muitos produtos, inclusive da vida humana. Uma melhor explicação da curva da banheira será abordada no Capítulo 4.

Mais recentemente, pesquisas de estudiosos identificaram outro tipo de falha, a falha latente, que não é considerada na curva da figura 3.2. Conforme as falhas latentes são detectadas elas se transformam em falhas *patents*. Não há como prever o tempo, em que essas falhas ocorrerão, já que são basicamente inevitáveis. As falhas latentes podem ser reduzidas por reprojotos para condições extremas, isto é, um superdimensionamento, ou através do uso do ESS antes de liberar o produto ao cliente.

Na aplicação prática, o período de vida constante, tem um pequeno aumento na taxa de falha em relação ao tempo, sendo quase constante. O modelo da curva da banheira com falhas latents é apresentado na figura 3.3.

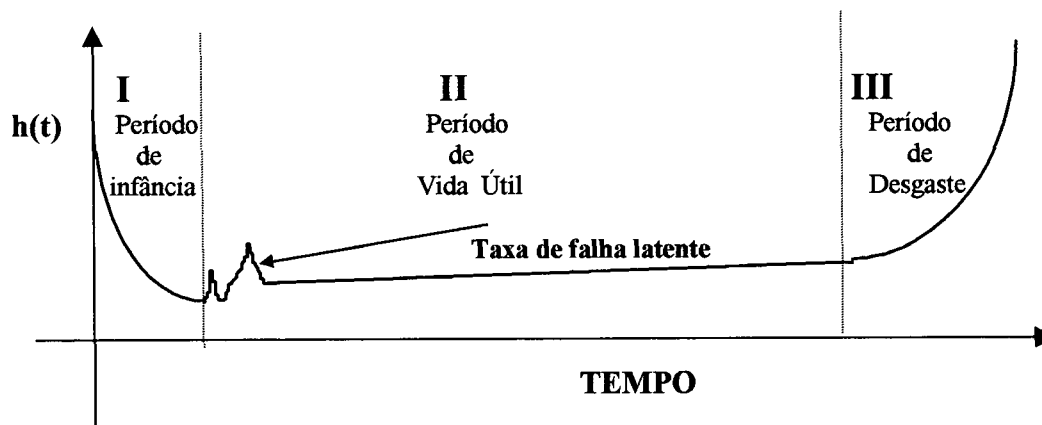


Fig. 3.3 - Curva da banheira modificada. [Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1995]

3.7 - MELHORIA DA CONFIABILIDADE ATRAVÉS DE TESTES

Segundo Demko (1995), o propósito primário do ESS (Triagem de Stress Ambiental) é precipitar defeitos latentes (partes

frágeis) e prevenir suas ocorrências no campo. Mas ESS também precipita modos de falhas *pattern* e identifica defeitos de projeto.

O propósito do RDGT (Teste de Desenvolvimento do Crescimento da Confiabilidade) é encontrar deficiências *pattern* de projeto, corrigi-las e melhorar a confiabilidade. O aumento da confiabilidade ocorre pela diminuição das falhas *pattern* (falhas que se repetem) e prevenir a reincidência em campo. RDGT é um processo de teste, análise e ajuste (TAAF), com repetidas aplicações da análise do pior caso. Mas no uso real de um produto, a situação do pior caso de ambiente, pode apenas ocorrer ocasionalmente.

Demko (1995) contribui para responder as seguintes questões:

- quanto eficiente é o RDGT em melhorar a confiabilidade, precipitando modos de falha que podem ocorrer no campo;
- quanto eficiente são os testes do tipo Chamber para precipitar modos de falha que podem ocorrer no campo;
- quais testes do tipo Chamber são mais eficientes em precipitar modos de falha que podem ocorrer no campo.

O autor usa as seguintes definições para categorizar as falhas:

- modos de falha *pattern*: são falhas recorrentes que possuem uma causa comum, sendo repetíveis. Uma falha com um potencial à reincidência, pode, às vezes, ser identificada e corrigida baseada apenas na primeira ocorrência;
- modos de Falha de Ocorrência Única: são modos de falha que envolvem diferentes causas. Portanto, falhas de simples ocorrência não exigem nenhuma ação corretiva, visto não têm nenhuma causa comum e não exibem nenhuma propensão a reincidir;
- defeitos latentes: são defeitos causados pela fragilidade dos componentes que, sob a aplicação de stress suficiente,

precipitam o modo de falha. Esse tipo de falha pode ser a combinação de modos de falha *pattern* e de ocorrência única.

- mortalidade infantil: são falhas observadas precocemente na vida de um produto. Elas podem resultar de qualquer combinação de modos de falhas de ocorrência única, ou modos de falha latentes.

Os dados das falhas são segregados dentro de duas maiores categorias (ver figura 3.4).

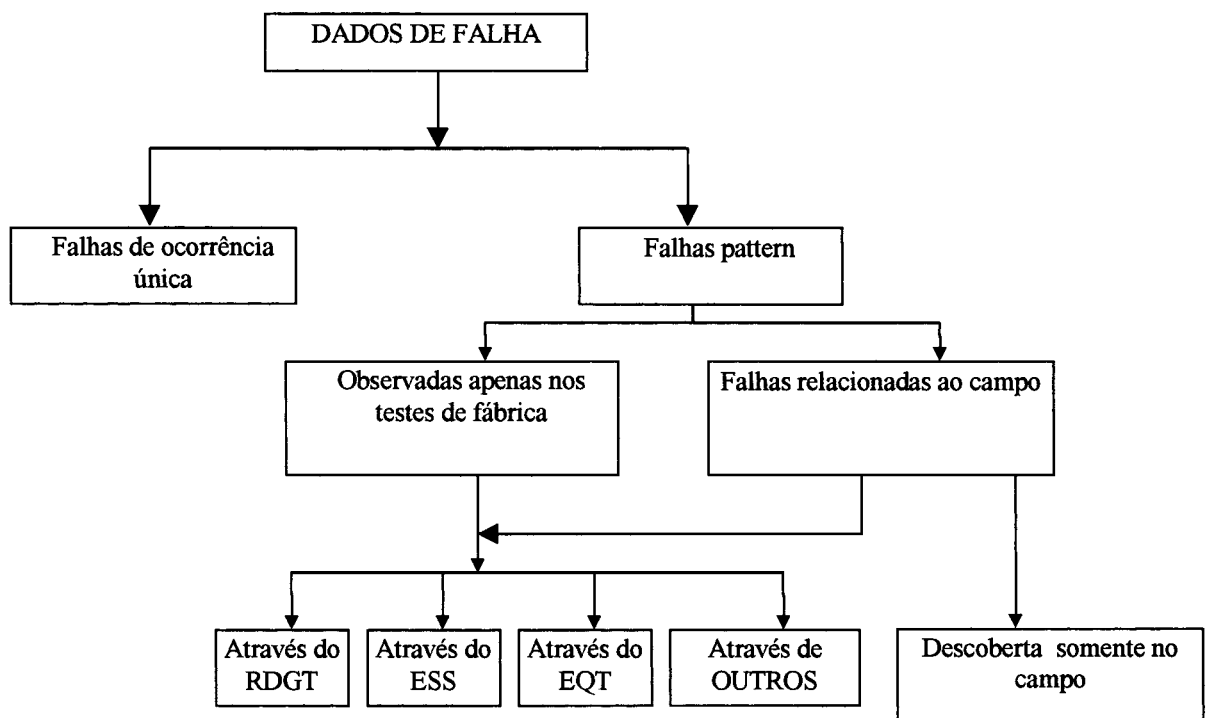


Figura 3.4- Categorias das falhas. [Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1995]

Onde:

- Defeitos - são inerentes ou fraquezas ou falhas induzidas em um produto, devido a materiais inferiores ou processos defeituosos;
- *Defects patent* - uma condição onde não se conhece as especificações, sendo prontamente detectável por inspeção ou

teste funcional sem a necessidade de obtê-las por *stress* ambientais;

- Defeito Latente (oculto) - um defeito que não é detectável por inspeção ou teste funcional, até que é transformado em um defeito *patent* por tensões ambientais aplicadas em um tempo acelerado;
- *Burn-in* - são falhas, excluídas as falhas *patent*, combinando ambientes elétricos e térmicos aproximados em um plano de tempo encurtado;
- *RDGT- Reliability Development Growth Testing*;
- *ESS- Environmental Stress Screening*;
- *EQT- Environmental Qualification Testing*;
- *Pattern* - falhas que se repetem.

O RDGT é realizado de acordo com a norma MIL-STD-1635. Dois testes consistem de um Sistema de Avião, três envolviam três tipos de Sistemas de Avião e um teste de cinco tipos de Sistemas de Avião. O *ESS* consistia de ciclos térmicos de temperatura e vibração. O *EQT* (Teste de Qualificação Ambiental) foi conduzido de acordo com a norma MIL-STD-810 e consistia de temperatura, altitude, *shock*, umidade, ambiente salino, vibração, *shock* operacionais, testes de manuseio, poeira, entre outros.

Após realizar experimentos com aviões, Demko conclui que o *ESS* é mais eficiente que os outros tipos de testes em relação ao aumento da confiabilidade de campo. Para esse programa de aumento da confiabilidade de um avião, 80 horas foi um tempo eficiente para melhorar a confiabilidade. Um outro fator importante é a necessidade de um eficiente sistema de análise de registros de falhas e ações corretivas (FRACAS), para fornecer os dados necessários para monitorar os testes.

CAPÍTULO 4 - ASPECTOS IMPORTANTES DA CONFIABILIDADE EM PRODUTOS

A tecnologia tem possibilitado a criação de dispositivos e equipamentos cada vez mais complexos, cuja operação, funcionamento e segurança dependem da confiabilidade dos seus componentes.

A probabilidade de um componente falhar, em um determinado instante de tempo pode ser definida pela estatística indutiva, através da análise de uma amostra da população destes componentes.

A confiabilidade é uma característica de qualidade de um produto, relacionada com a sua utilização. Pode ser considerado um caracterizador global da qualidade, pois a qualidade só é adequada, se sua missão em relação ao produto for cumprida, satisfatoriamente.

Se o projeto do produto for executado, ele deve perseguir o objetivo de um produto adequado ao uso (Juran, 1979), (ver figura 1.1) , que pode ser de solicitação única, de muitas solicitações ou de solicitação contínua em intervalos de tempo.

O projeto deve especificar materiais, componentes, dimensões e outras características que globalmente levam o produto a ter bom desempenho para atender às exigências do usuário, sem contudo, encarecer o seu preço final. É fundamental que, no projeto do produto se previna problemas de mal funcionamento, procurando-se evitá-los. A confiabilidade dos seus componentes integrantes deve ser monitorada , a fim de resguardar o bom funcionamento, evitando-se que as falhas neste sistema sejam estendidas ao produto(ver figura,4.1).

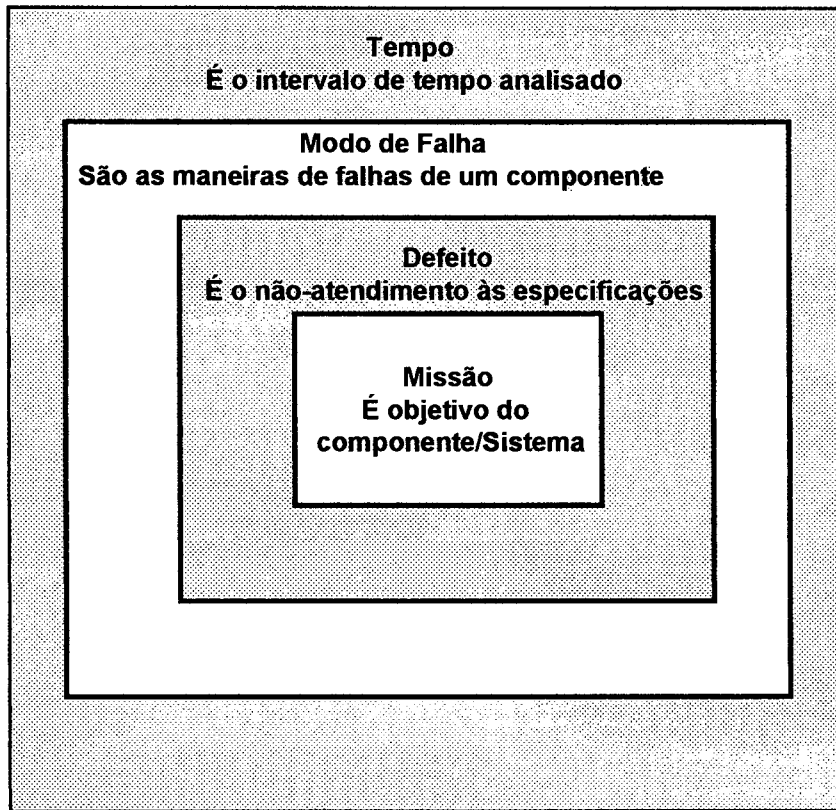


Fig.4.1 - Fundamentos de Engenharia de Confiabilidade.

Como confiabilidade é um conceito probabilístico, o grau de certeza é tratado como probabilidade, em que é necessário efetuar ensaios de vida e calcular estatísticas amostrais. Os ensaios também são feitos para testar a confiabilidade do produto, e componentes. Assim sendo, é necessário que se saiba saber através da análise de amostras da população, qual a distribuição estatística que representa a probabilidade de ocorrência de falhas. E utilizar a que melhor adira às distribuições existentes.

Deve-se lembrar que confiabilidade é referência, não objetivo ou critério para se realizar qualidade. Quando se planeja o produto centrado na confiabilidade, alguns parâmetros devem ser conhecidos, tais como:

- probabilidade de sobrevivência $R(t)$ (DIN 40041,1980): é a probabilidade de um determinado componente ou produto observado não apresentar falhas por determinado período de

tempo. A definição matemática dessa probabilidade vai depender de qual distribuição de probabilidade melhor representa o componente;

- tempo médio entre falhas - *Mean Time Between Failure (MTBF)* : tempo médio entre falhas sucessivas de um produto reparável. Sua determinação também depende da distribuição estatística, que representa o componente. Em alguns casos pode ser determinada graficamente, através dos dados provenientes das amostras estudadas ;
- taxa de falhas : número de falhas por intervalo de tempo . É calculada pela seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (4.1)$$

- tempo médio até falhar- *Mean Time Failure (MTTF)* : tempo médio até falhar, de um produto que não se conserta ou tempo médio até a primeira falha de um produto reparável. Se considerarmos que, em produtos reparáveis, a peça a ser substituída não é reparável, as expressões do MTBF e MTTF dessa peça são iguais;
- disponibilidade (*Availability*) : é relacionada com o tempo e é medida pela extensão com que o usuário pode contar com o funcionamento do equipamento ou componente em questão;

Pode-se definir como produto disponível o período no qual o produto está em estado operativo; e produto não disponível, o período no qual não está no estado operativo, (ver figura, 4.2).

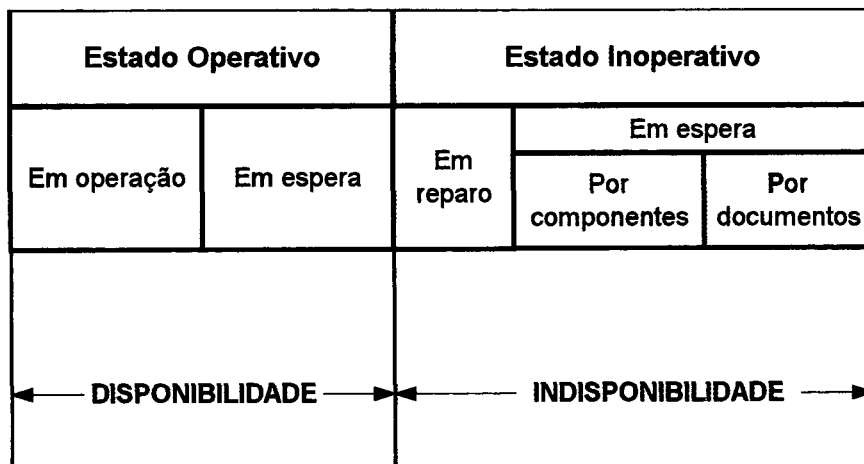


Fig. 4.2 - As expressões que definem a disponibilidade.

$A = \text{Disponibilidade} = \frac{\text{Estado operativo}}{(\text{Estado operativo} + \text{Estado não operativo})}$

ou :

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4.2)$$

- *manutenabilidade (Maintainability)*: é qualquer ação que mantém unidades que não falharam em condições satisfatórias de operação ou que traz unidades que falharam para essas condições (ver figura 4.3).

Isso implica alguns tipos de manutenção:

- *manutenção corretiva*: como o próprio nome já diz, a manutenção corretiva visa a corrigir, ou seja, providenciar intervenção na máquina ou componente e quando há quebra ;
- *manutenção preventiva*: a manutenção preventiva é a manutenção efetuada segundo critérios pré-determinados, com a intenção de se reduzir a probabilidade de falhas da máquina;
- *manutenção sistemática*: é a manutenção preventiva efetuada segundo um programa estabelecido em função do tempo ou número de unidade de utilização. Essa manutenção foi, e ainda é muito

utilizada na aviação, onde as peças são trocadas em função de horas de vôo;

- manutenção preditiva: é a manutenção feita através de monitoramento contínuo do equipamento, e de maneira inteligente, de forma que a intervenção na máquina só ocorra um pouco antes da falha iniciar. Os europeus a chamam de manutenção condicional, subordinada a um tipo de acontecimento pré-determinado (auto-diagnóstico, informação dada por um sensor, medida de desgaste), revelador do estado de degradação de um bem. A expressão americana define um tipo de manutenção condicional que permite reajustar as previsões das operações de manutenção a efetuar, estimando-se a tendência evolutiva do funcionamento não adequado, detectado no equipamento ou máquina, e o tempo durante o qual é possível continuar a utilizá-lo antes da avaria;
- manutenção produtiva total (TPM): manutenção produtiva é uma expressão de origem nipo-americana que estabelece um tipo de manutenção preventiva sistemática organizada a partir de um programa de produção.

Esse método mais recente na manutenção mundial, baseia-se:

- na determinação da melhor taxa de utilização dos equipamentos, a partir da noção de "rendimento sintético", equivalente na terminologia anglo-saxônica à máxima eficácia com o mínimo do "custo do ciclo de vida";
- nos custos totais de equipamento, em função do tempo e da sua incidência no custo do ciclo de vida;
- na extensão a todos os serviços intervenientes (produção, manutenção, planificação e métodos, projetos, montagens, entre outras);
- na participação de todos os elementos da empresa na pesquisa de melhoramentos;
- na atividade executiva autônoma de pequenas equipes orientadas pela redução de custos, numa gestão participativa assente na motivação.

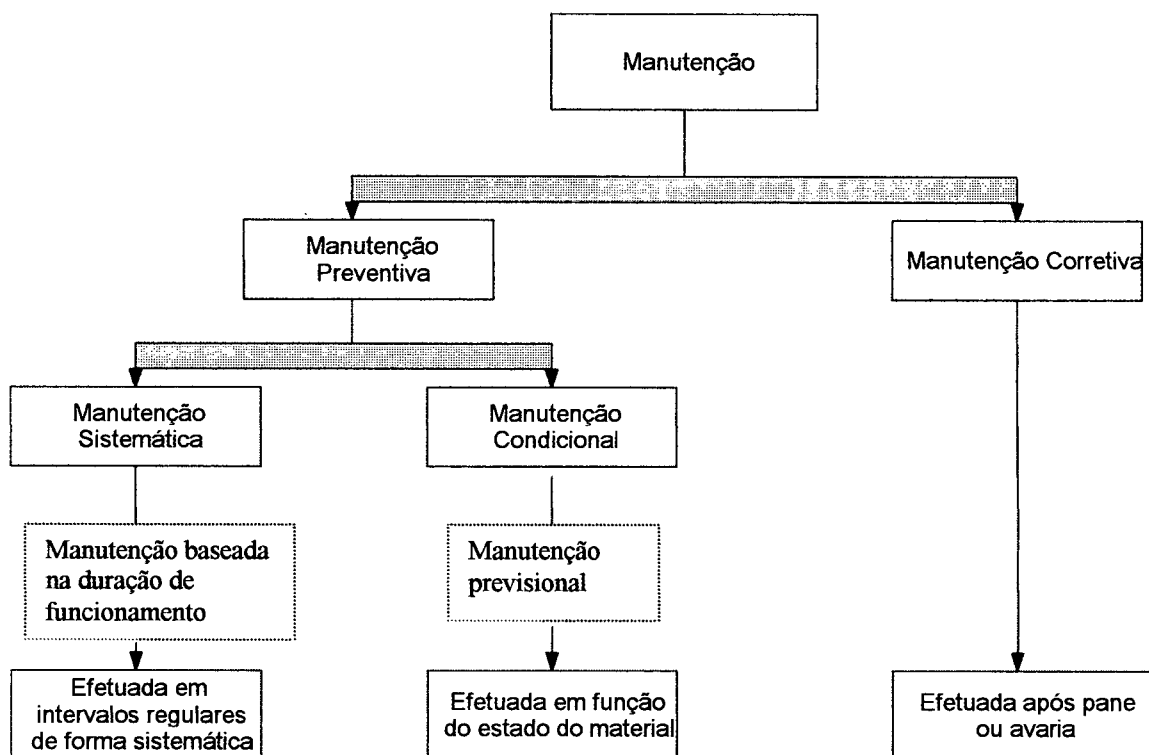


Fig. 4.3 - Tipos de manutenção. [Associação Brasileira de Manutenção, 1994]

As ações corretivas e preventivas são completadas em tempos diferentes, dependendo do tipo de componente, sua localização no equipamento, ferramentas existentes, conhecimento do técnico, etc. Como consequência, os tempos dessas ações irão variar com a consequente obtenção de distribuição de tempos de manutenção. A mais utilizada é a lognormal (ver figura 4.4). A manutenibilidade é calculada como probabilidade, para se completar a manutenção no tempo (t_m), quando peças falham ou são substituídas preventivamente.

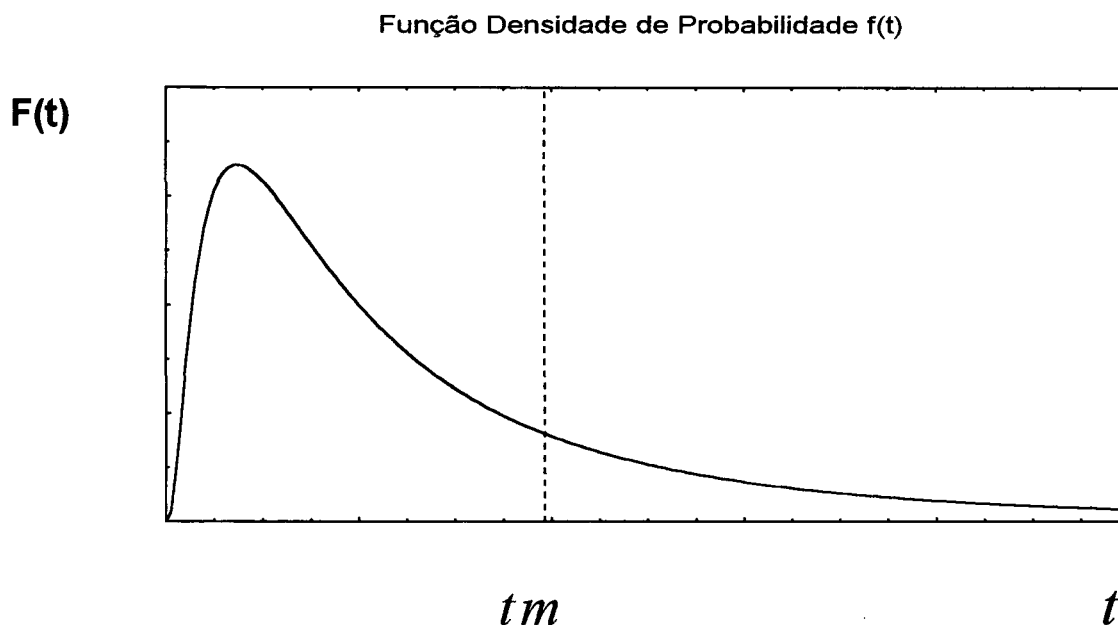


Fig. 4.4 - Distribuição Logonormal.

Algumas definições de confiabilidade mais apropriadas a este trabalho são:

- confiabilidade de um produto é o grau de certeza com que o produto vai atender às especificações de desempenho ao ser solicitado;
- probabilidade de um produto desempenhar sem falha uma função especificada, sob dadas condições e durante um intervalo de tempo especificado;
- em termos de componente, a confiabilidade pode ser definida como: a probabilidade com que um componente/ sistemas opera normalmente desde o tempo 0 até o tempo t, mantendo as condições normais de operação ;
- por confiabilidade (segundo DIN 40041, 1980) entende-se a capacidade de uma unidade de observação satisfazer às exigências necessárias para finalidade de uso, nos limites preestabelecidos, que foram especificados para manter suas propriedades por um período determinado.

Uma forma clássica empregada para explicar o comportamento das falhas ao longo do tempo, é a curva da banheira. Embora nem todos os componentes ou produtos se comportem com relação a falha de acordo com a curva da banheira, (ver figura 3.2), de uma forma genérica ela pode auxiliar na interpretação das falhas.

Na fase I, observa-se um aumento acentuado da taxa de falhas (é alta e decresce), que pode ser debitado a deficiência de fabricação, problemas de produção, falhas de material, etc. Esse período é denominado mortalidade infantil ou falhas prematuras.

Na fase II, a freqüência das falhas permanece aproximadamente constante, pois todos os elementos com problemas prematuros já foram eliminados. Esse período é denominado vida útil.

Na fase III a taxa de falhas é crescente devido ao desgaste de partes e componentes. Esse período é denominado velhice ou obsolescência.

Na prática, procura-se reduzir ao máximo o período de mortalidade infantil, pois uma taxa alta nesse período mostra claramente problemas na produção e componentes, denegrindo profundamente a imagem do produto junto ao cliente.

Também procura-se aumentar ao máximo o período estipulado de vida útil dentro de um custo-benefício aceitável, período esse em que centrar-se-á o estudo deste trabalho.

No caso de produtos reparáveis, os usuários se preocupam com o período de tempo que o produto irá funcionar sem falhas, isto é, o tempo entre falhas é um fator crítico. Quando se trata de produtos não-reparáveis, o fator crítico corresponde ao tempo até a ocorrência da falha.

A taxa média de falhas, para qualquer tempo t , para um grupo de amostras que estão sendo testadas é dado por:

$$\lambda (t) = \frac{N f}{N t . \Delta t} \quad (4.3)$$

onde :

- **Nf** : número de falhas no intervalo de tempo Δt ;
- **Nt** : número de unidades em teste no intervalo de tempo Δt ;
- **Δt** : intervalo de tempo considerado;
- **$\lambda(t)$** : taxa de falhas ao longo do tempo.

Analisando apenas o período em que a taxa de falhas é constante, observa-se que a distribuição é constante, a distribuição da taxa de falhas ao longo do tempo corresponde a uma forma exponencial.

Quando a distribuição da taxa de falhas for exponencial (taxa de falhas constante) , a confiabilidade é dada por :

$$R = e^{-\frac{t}{MTBF}} = e^{-t \cdot \lambda} \quad (4.4)$$

onde:

- **R**: confiabilidade (*Reliability*);
- **t**: tempo de operação;
- **MTBF**: Tempo médio entre falhas (*Mean Time Between Failure*);
- **λ** : taxa de falhas.

O MTBF é a média dos tempos de sucessivas falhas de um produto reparável. Indica o quanto um produto é confiável no período de vida útil.

A probabilidade de um produto funcionar sem falhas durante um período ou superior ao seu MTBF é de somente 37%. Um aumento no MTBF não resulta em um aumento proporcional da confiabilidade.

Uma distribuição estatística, que tem sido empregada no estudo de confiabilidade, por representar a maioria das amostra de resultados de testes, é a distribuição de Weibull.

Na distribuição de Weibull, a função probabilidade (equação 4.5) é dependente de três parâmetros:

$$f(t) = \frac{\beta}{(\theta - \delta)^\beta} (t - \delta)^{\beta-1} \exp - \left(\frac{t - \delta}{\theta - \delta} \right)^\beta, \quad (4.5)$$

$$t \geq \delta$$

onde:

- t = tempo de falha ($t \geq \delta$);
- δ = Parâmetro de vida mínima ($\delta \geq 0$);
- β = Parâmetro de vida útil ($\beta > 0$);
- θ = Parâmetro de vida característica ($\theta > \delta$).

A função confiabilidade, equação 4.6, também é dependente dos mesmos parâmetros da função de probabilidade.

$$R(t) = \exp - \left(\frac{t - \delta}{\theta - \delta} \right)^\beta, \quad t \geq \delta \quad (4.6)$$

De outra forma, pode-se escrever a função de probabilidade em função de dois parâmetros β e θ , representados na equação 4.7.

$$f(t) = \frac{\beta}{\theta^\beta} t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}, \quad t \geq 0 \quad (4.7)$$

Igualmente a função confiabilidade pode ser escrita em função de dois parâmetros, os quais são mostradas na equação 4.8.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}, \quad t \geq 0 \quad (4.8)$$

Outro aspecto da confiabilidade refere-se ao fator de desempenho. O conceito de fator de desempenho é implícito em (Juran 1974), onde a satisfação do cliente é definida por uma relação entre a real experiência do consumidor e as expectativas anteriores do cliente. A probabilidade da função distribuição mostrada na figura 4.5, é;

$$t = \theta \left[\ln \left(\frac{1}{R} \right)^{\frac{1}{\beta}} \right] \quad (4.9)$$

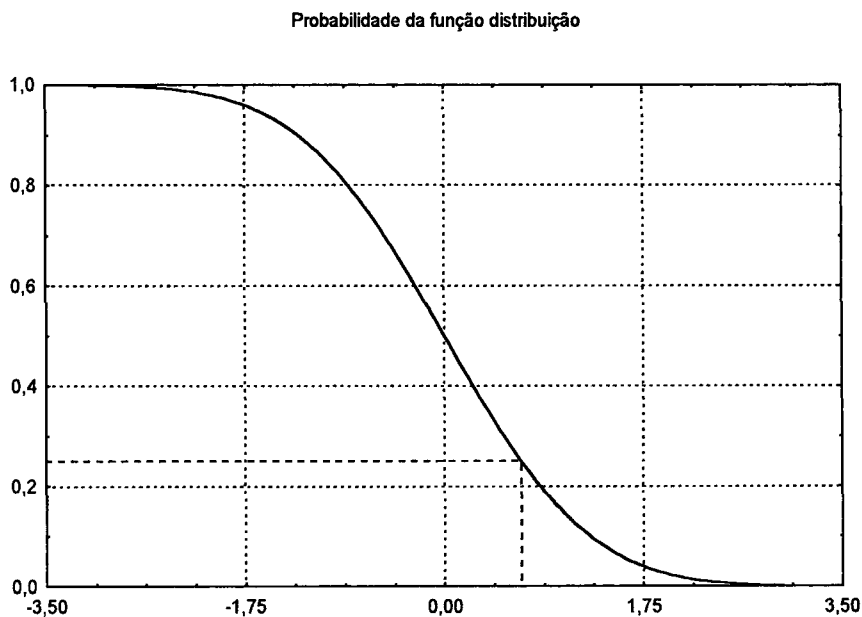


Fig. 4.5- Probabilidade da função distribuição.

Pode-se escrever a equação da função *Hazard* em relação aos dois parâmetros β e θ .

$$h(t) = \frac{\beta}{\theta^{\beta}} t^{\beta-1}, \quad t \geq 0 \quad (4.10)$$

Antes de aplicar o conhecimento adquirido anteriormente, deve-se procurar entender os mecanismos das falhas e, a partir

disso, montar um plano de ação fundada na confiabilidade. A falha isolada não diz muita coisa, o contexto em que se encontra é o principal ponto a ser analisado; para isso, o conceito de sistema tem sua importância e deve ser conhecido.

Sistema é basicamente, o arranjo ordenado de componentes que interagem entre si e com outros componentes externos ao próprio sistema. Isso leva a desdobrá-lo em outros tipos de sistemas :

- sistemas reparáveis;
- sistemas não reparáveis.

Um sistema é classificado como reparável, se pelo menos um de seus componentes é reparável.

Um sistema é classificado como irreparável, se todos os seus componentes não possibilitam reparo.

Em consequência, é necessário conhecer os tipos de falhas. A maioria das metodologias define as falhas em relação ao funcional do produto, algo que fez deixar de funcionar . Para detectar as falhas, é empregado tempo em laboratório e dispositivos que a possam evitá-las ou prevê-las. De uma maneira geral, pode-se chamar de falha tudo aquilo que não atende às expectativas do cliente. A falha, quando ocorre dentro do prazo de garantia, torna-se muito onerosa para o fabricante, que desembolsará muito dinheiro para corrigi-la. Cada intervenção da assistência técnica resultará em um custo não previsto. A análise dessas falhas leva a interpretá-las como falhas precoces dentro da curva da banheira, por acontecerem antes do produto atingir a vida útil.

Sobre o aspecto do componente, tem-se sistemas formados por componentes como *hardware*, materiais ou subsistemas que são cercados por ambientes físicos, os quais sofrem com a ação do tempo de uso desde sua fabricação.

A falha causada por um componente ou um conjunto de componentes. O meio ambiente condições de uso e o envelhecimento

pode afetar o sistema somente através dos subsistemas de componentes, ver figura 4.6)

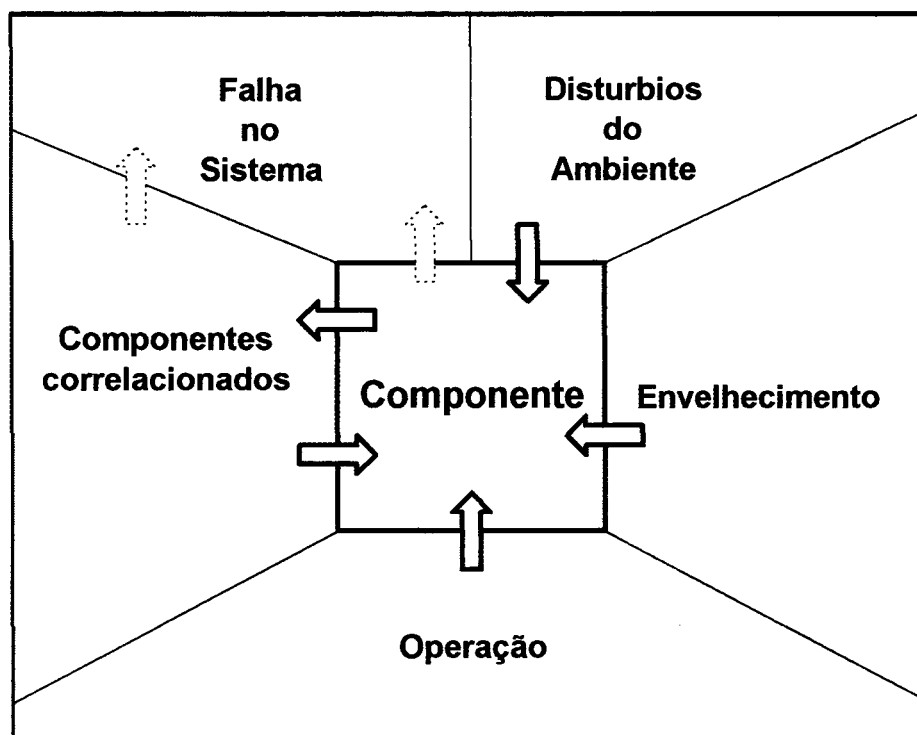


Fig. 4.6 - Correlação dos componentes com as falhas.

[Probabilistic Risk Assessment]

As características de falha de um componente são dadas através da origem das falhas e são classificadas como falhas primárias, falhas secundárias ou falhas de comando, como mostra a figura 4.7. Uma melhor definição é dada por:

- falhas primárias são o resultado da deficiência de um componente. A falha no componente ocorre em operação normal, nas condições ambientais normais dentro das condições especificadas em projeto e requer ação de reparo para que retorne ao estado de trabalho;
- falhas secundárias são resultado de causas secundárias, ou seja, fatores interrelacionados de dois ou mais componentes no sistema fora das condições especificadas no projeto, sendo subdivididas em:

- falhas devidas a causa comum. Uma falha secundária pode ser classificada como causa comum , se a causa secundária induz à falha em mais de um componente;
- falhas de propagação. A falha de um componente pode originar a propagação da falha para os demais componentes;

Falha de Comando é a falha decorrente de um comando incorreto ou de um sinal de *Input* para o componente. Outras formas de definir falhas, embora todas elas se enquadrem nos tipos acima, são:

- falhas intermitentes, são falha que resultam na falta de alguma função do equipamento, apenas por um curto período de tempo. O componente volta completamente ao seu estado funcional, imediatamente após a falha;
- falha estendida, são falhas que resultam na falta de algumas funções que continuarão até que a(s) parte(s) falhada(s) seja(m) substituída(s) ou reparada(s). Falhas estendidas se subdividem em dois tipos:
 - falha completa, falha que causa uma falta completa de uma função exigida;
 - falha parcial, falha que conduz à falta de algumas funções, mas não como a Falha Completa , pois pode-se utilizar redundâncias para contornar o problema até que a falha seja corrigida.

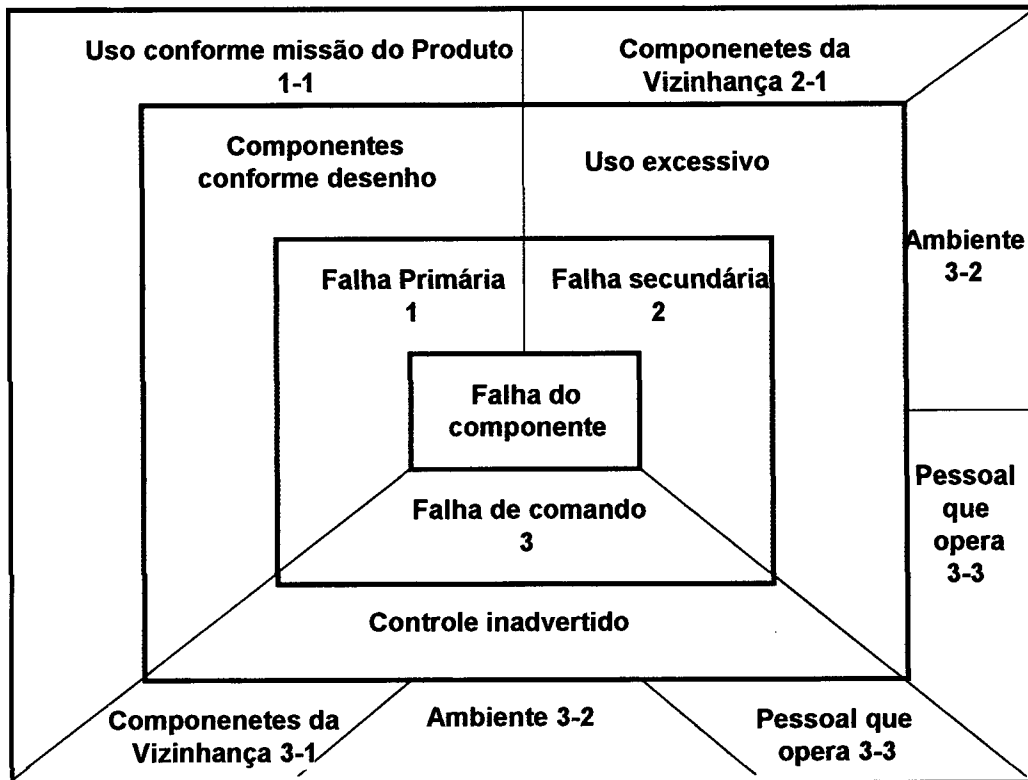


Fig. 4.7 - Características de falhas dos componentes.

[Probabilistic Risk Assessment]

As falhas, completa e parcial, podem ser classificadas de acordo com sua ocorrência:

- falha súbita: falhas que não poderiam ser prevenidas através de testes e, ou análise;
- falha gradual: falhas que poderiam ter sido previstas por teste e ou análise.

As falhas ainda podem ser combinadas para dar a seguinte classificação:

- falhas catastróficas: falhas que são ambas súbita e completa;
- falha de degradação: falhas que são ambas parcial e gradual.

As falhas, além disso, podem ser classificadas como :

- falhas por desgaste: são falhas atribuídas ao processo normal de desgaste de um equipamento;
- falhas por mau uso: são falhas atribuídas a aplicação de stress, além da capacidade especificada do item.

- falhas inerentes a fragilidade: são falhas que resultam de erros de projeto, produção ou montagem e fazem com que o item falhe quando sujeito a stress dentro das capacidades especificadas.

É comum um novo produto ser menos confiável durante o desenvolvimento. Após introduzir melhorias, através de um programa de confiabilidade, o resultado de falhas observadas após a melhoria implantada tende a ser menor ou quase zero. Produtos semelhantes em campo freqüentemente exibem um aumento de confiabilidade. Essa era a primeira análise de Duane, de onde derivou a relação empírica fundada em observação da melhoria de MTBF de componentes usados em aeronave. Duane observou que o MTBFC cumulativo (tempo total dividido por falhas totais) plotado contra tempo total em papel log-log davam uma reta (ver figura 4.8) que se inclinam (α) revelando uma indicação de aumento de confiabilidade (MTBF).

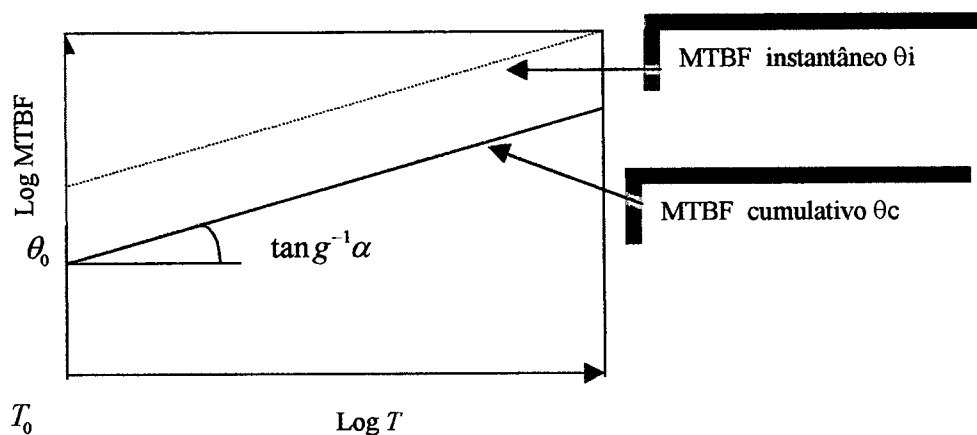


Fig.4.8 - Crescimento da confiabilidade de Duane.

[O'Connor, 1991]

O método de Duane é aplicável à uma população com um número de modos de fracasso que são corrigidos progressivamente, e na

qual vários componentes contribuem com tempos correntes diferentes do tempo total.

$$\log \theta_c = \log \theta_0 + \alpha (\log T - \log T_0) \quad (4.11)$$

onde, θ_0 é o MTBF acumulado até o início do período de monitoramento T_0 . Tem-se :

$$\theta_c = \theta_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^\alpha \quad (6.12)$$

Da equação (6.12) chega-se a;

$$\theta_i = \frac{\theta_c}{(1-\alpha)} \quad (6.13)$$

O modelo de Duane também pode ser usado para avaliar o tempo de teste exigido para se chegar a um MTBF desejado. Se um MTBF é conhecido em algum momento requerido, então, o MTBF desejado pode ser estimado, isso é, se um valor assumido para T_0 , for relacionado com o valor escolhido. Então descobre-se e corrige-se a causa do fracasso, através do tempo de teste. Conhecendo o MTBF efetivo de melhoria de confiabilidade inicial, aplica-se um plano de ação através de um programa de confiabilidade, selecionando um valor para α . O seguinte valor de α pode ser usado como um guia:

- $\alpha = 0,4$ a $0,6$, o programa de confiabilidade dedicou à eliminação dos modos de falhas uma prioridade de topo, através do uso de testes acelerados (*overstress*) e análise imediata e ação corretiva efetiva, para todos os fracassos;
- $\alpha = 0,3$ a $0,4$ foi dada atenção prioritária à melhoria da confiabilidade, às falhas normais (tensões esperadas típicas) e aos testes de ambiente. Administrou-se a análise e ação corretiva para modos de fracasso importantes;

- $\alpha = 0,2$, atenção rotineira para melhoria da confiabilidade, com teste sem tensão ambiental aplicada. Ação corretiva levada para modos de fracasso importantes;
- $\alpha = 0$ a $0,2$, nenhuma prioridade dada a melhoria da confiabilidade. Dados de falhas sem análise. Ação corretiva levada para baixa prioridade.

Esse modelo pode ser útil, para aplicação no trabalho proposto, como um estimador de tempo de testes. Pode ser estendido para uma análise mais superficial dos custos envolvidos nos testes e assim, dar subsídios para tomada de decisão quanto a realização ou não de testes que aumentem a confiabilidade.

CAPÍTULO 5- DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA

Um produto, ao ser projetado a partir dos dados de entrada bem consolidados pela voz do consumidor, pode ser o diferenciador entre as organizações. Ao lançar um novo produto no mercado, as organizações esperam o sucesso em vendas do produto, por outro lado, o consumidor espera que o produto satisfaça às suas necessidades.

Para atender às necessidades dos consumidores, existem atividades críticas que devem ser priorizadas e executadas. Quando se deixa de fazê-las, o efeito é sentido pelo consumidor ao comprar um produto. Para evitar a insatisfação do cliente as organizações devem planejar satisfatoriamente e dispor de recursos e meios que possibilitem a realização das etapas planejadas.

5.1- CICLO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

O desenvolvimento do produto , pode ser considerado como uma etapa única, com objetivos bem definidos e características próprias.

O lançamento do produto, pode colocar em risco todo o processo desenvolvido, quando as etapas não são cumpridas , o que pode resultar em falhas. Isso se reflete também no custo de várias formas, como: Imagem, marca, mercado entre outras. As falhas dos produtos, tornam-se muito onerosas após o lançamento, o esforço e tempo necessários para corrigi-las, muitas vezes não são ou não estão disponíveis , por isso , deve-se tomar ações preventivas antes do lançamento.

As organizações, estão lançando novos produtos no mercado à uma velocidade cada vez maior, o consumidor encontra à disposição uma grande variedade de modelos e marcas . Ao

comprar um produto hoje, amanhã este produto poderá não mais atender às necessidades dos consumidores. Pode-se usar como exemplo deste fenômeno, a indústria de informática, que tem lançado produtos cada vez mais sofisticados em um curto espaço de tempo.

Na indústria em geral, tem-se levado a implantação de um gerenciamento de projetos mais consistente, apoiados por metodologias como, QFD, C2C, entre outras. Isso tem possibilitado alcançar bons resultados. A identificação de ações necessárias ao projeto, para atingir os objetivos, tem importância significativa na criação de uma estrutura de produto para o desdobramento das atividades. Isso implica em definir um planejamento para o projeto do produto, estabelecer metas, focar os objetivos na satisfação do cliente. Um planejamento por mais simples, que seja, deve contemplar algumas etapas básicas (ver figura 5.1).

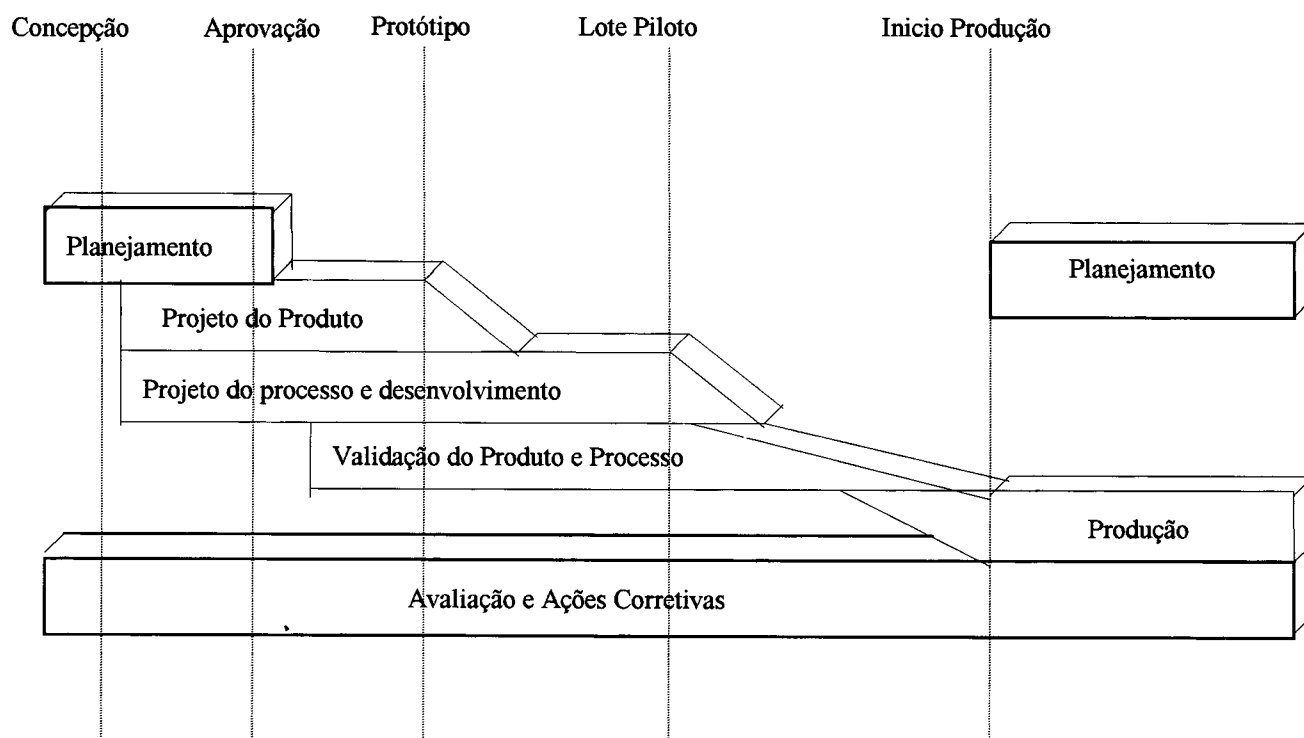


Fig. 5.1 - Quadro Geral do Planejamento da Qualidade do Produto. [QS-9000]

O cronograma das atividades tem a mesma importância que operação por si mesma, pois não é correto antecipar uma atividade que é dependente de outra. Inserido nesse contexto existe uma dependência de atividades que se interligam. Uma dependência é padrão, quando uma atividade deve ser concluída para que a outra seja iniciada. Isso leva a concluir que, a concepção só pode ser iniciada ou validada após os dados de entrada estarem bem definidos (voz do cliente). Além dos dados de entrada, outro marco do projeto é o tempo de execução das atividades, nesse contexto a organização deve dispor de metodologias, que possam auxiliar no sentido de encurtar o ciclo de desenvolvimento do produto. Um planejamento mal elaborado pode levar a organização a enfrentar dificuldades, que podem refletir nas etapas do projeto. A tabela 5.1 apresenta algumas dificuldades que podem ocorrer nas etapas do projeto.

<i>Fase do projeto</i>	• Atividades mal planejadas
<i>Na fase de definição do projeto</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Os objetivos da implementação do projeto estão vagos, e será difícil medir os benefícios. Os recursos não foram alocados ao projeto. • Pouco tempo é dedicado ao planejamento preliminar. • Falta de pessoal no projeto. • Pessoal da área de informações promete resultados que não pode fornecer.
<i>Na análise de necessidades</i>	<ul style="list-style-type: none"> • As necessidades derivam de documentação inadequada • Os analistas de projeto não sabem entrevistar os usuários adequadamente.
<i>Na fase de projeto</i>	<ul style="list-style-type: none"> • A equipe de projeto não é responsável pelas atividades de entradas do projeto. • O Produto é projetado apenas para as necessidades de hoje. • São planejadas mudanças drásticas nos procedimentos administrativos e no pessoal sem uma análise de impacto fabril. • Especificações funcionais são documentadas inadequadamente.
<i>Na fase de teste</i>	<ul style="list-style-type: none"> • É subestimada a carga de tempo e custo para os testes necessários. • A equipe do projeto não desenvolve um plano de teste necessário. • As áreas não são suficientemente envolvidas nos testes. • A equipe de implementação não desenvolve testes apropriados
<i>Na fase de conversão</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Torna-se o produto operacional antes que ele esteja pronto para compensar por custos. • A documentação é inadequada. • Não são conduzidas avaliações de desempenho. Não se estabelecem padrões de performance. • Não se faz provisão para manutenção do produto.

Tabela 5.1 - Atividades mal planejadas nas fases do projeto.

Associadas às metodologias estão as ferramentas da qualidade como, FMEA, FTA, DOE, Taguchi entre outras, que podem auxiliar as atividades de detecção e prevenção de falhas , tanto em projeto como nos processos e na manufatura do produto.

5.2- QUALIDADE RELACIONADA ÀS FALHAS EM PRODUTOS

A qualidade do projeto é uma meta preestabelecida pela organização, focada na voz do consumidor. Pode-se dizer, que os objetivos principais começam pela voz do consumidor. No processo de geração do produto, a organização estabelece metas a serem alcançadas durante o desenvolvimento e após o lançamento. O que leva a identificar problemas antes que estes se manifestem e se tornem sérias ameaças às metas preestabelecidas.

Para se ter uma idéia, das várias formas como a qualidade é interpretada, a seguir são mostrados conceitos de qualidade apresentados pelas principais autoridades da área :

- "Qualidade é ausência de deficiências" ou seja, quanto menos defeitos, melhor a qualidade, (JURAN, 1992);
- "Qualidade é a correção dos problemas e de suas causas ao longo de toda a série de fatores relacionados com marketing, projetos, engenharia, produção e manutenção, que exercem influência sobre a satisfação do usuário," (FEIGENBAUM, 1994);
- "Qualidade é a conformidade do produto às suas especificações." As necessidades devem ser especificadas, e a qualidade é possível quando essas especificações são obedecidas sem ocorrência de defeito, (CROSBY, 1986);
- "Qualidade é tudo aquilo que melhora o produto do ponto de vista do cliente". Deming, associa qualidade à impressão do cliente, portanto não é estática. A dificuldade em definir qualidade está na renovação das necessidades futuras do usuário em características mensuráveis, de forma que o produto possa ser

projetado e modificado para dar satisfação por um preço que o usuário possa pagar, (DEMING, 1993);

- "Qualidade é desenvolver, projetar, produzir e comercializar um produto de qualidade que é mais econômico, mais útil e sempre satisfatório para o consumidor," (ISHIKAWA, 1993) .

Percebe-se, portanto, que qualidade é aquilo que está relacionado com o usuário, que satisfaça às necessidades dos clientes, ou seja, o produto deve estar de acordo com suas expectativas, e em conformidade com às especificações.

A definição da qualidade não se aplica somente às organizações comerciais. É também usada para qualquer tipo de empresa e mesmo para os indivíduos. É tão abrangente o termo qualidade, que envolve não apenas as pessoas mas também as funções, equipamentos, processos, fornecedores, distribuidores, clientes entre outros, incluindo todos os aspectos de um produto, desde o desenvolvimento do projeto, recebimento de matéria-prima, produção, entrega e serviço pré e pós-vendas e tudo o que diz respeito ao verdadeiro valor para o consumidor.

Deming (1993), cita uma frase de Walter A. Shewhart (1931), segundo a qual "a dificuldade em definir qualidade está na convenção das necessidades futuras do usuário em características mensuráveis, de forma que o produto possa ser projetado e modificado para dar satisfação a um preço que o usuário pague. Isso não é fácil e assim que se alcança algum sucesso nessa tarefa, descobre-se que as necessidades dos clientes mudaram. Além disso, a entrada de outros concorrentes no mercado, o surgimento de novos materiais, alguns melhores que os antigos, outros piores, alguns mais baratos, outros mais apreciados", contribuem para dificultar para entender e atender os consumidores.

No que se refere ao desempenho do produto, a qualidade está diretamente relacionada com a falha, a ocorrência ou não da falha pode servir como um indicador de pior ou melhor qualidade. Para avaliar o desempenho do produto, pressupõe-se

que todo produto ou componente falha , essa é uma dependência direta do tempo, embora existam diversos fatores que contribuem em graus diferentes para o surgimento da falha. Pode-se dizer que a falha de um componente é o não cumprimento da missão para a qual foi designada, por um período de tempo preestabelecido. Alguns limitadores devem ser considerados, como tempo de uso , condições de uso, desejos dos clientes, aplicação, entre outros. Tem-se dessa maneira como determinar a qualidade do produto em função do tempo da ocorrência das falhas.

5.3- DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO DA QUALIDADE (QFD)

Uma das metodologias para o desenvolvimento de projetos destaca-se o QFD, que pode ajudar na definição dos dados de entrada e priorização das etapas mais críticas. O QFD tem como premissa atender o cliente em sua plenitude, para tanto, faz-se através da transformação dos desejos do consumidor em produto. Juran (1993), define o Desdobramento da Qualidade como sendo funções que formam a qualidade. O QFD contempla a definição de Juran e permite o monitoramento de todas as ações e reações tanto positivas quanto negativas no que tange ao objetivo de atender o consumidor.

Entre outras abordagens a de AKAO(1990), contempla quatro perspectivas distintas de desdobramento: desdobramento da qualidade, da tecnologia, da confiabilidade e do custo.

O modelo de Akao (1990), sugere a utilização destes quatro desdobramentos para um estudo mais abrangente e completo sobre um dado tema. No entanto a presença ou não das quatro fases do desdobramento em um determinado estudo é dependente dos objetivos estabelecidos. É importante comentar, que nesse momento os quatro desdobramentos não implicam em quatro matrizes para cada um dos desdobramentos, AKAO (1990), sugere

uma série de matrizes, que são utilizadas, dependentemente dos parâmetros citados.

Para a definição clara do desdobramento a ser realizado, deve-se elaborar um modelo conceitual, que é o caminho a ser percorrido para a obtenção do objetivo proposto. No modelo conceitual estão dispostas em seqüência lógica, as matrizes necessárias, conforme o que se pretende.

Nas matrizes as colunas (ver figura 5.2), mostram os pontos chave que merecem ser trabalhados visando a promoção das melhorias desejadas, para atingir os objetivos estabelecidos.

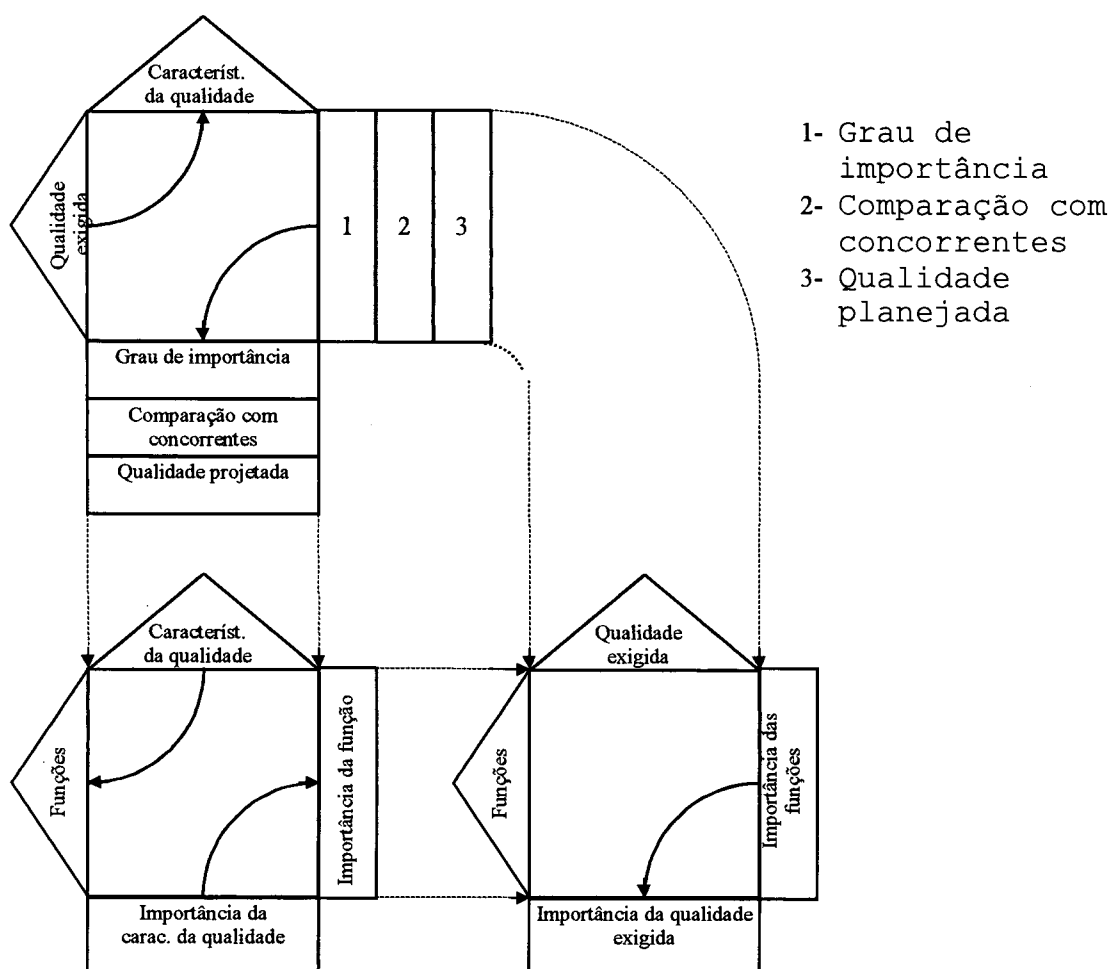


Fig. 5.2 - Exemplo de modelo conceitual para o QFD segundo Akao. [AKAO, 1990]

Para auxiliar o tratamento das informações obtidas, o autor sugere a utilização de técnicas como a Engenharia do Valor, a Metodologia de Taguchi, Projeto e Experimentos, Análise de

Árvore de Falhas e Análise do Modo e Efeito de Falhas. Composto assim um sistema estruturado para gerenciar o desenvolvimento de produtos e serviços com um enfoque voltado para as necessidades do consumidor.

Uma das características mais importantes dessa versão, é o entendimento do QFD num sentido mais amplo, separando-o em QD e QFDr.

O QD (desdobramento da qualidade), visa desdobrar a qualidade, utilizando a lógica da causa e efeito, de forma sistematizada. O desdobramento parte da voz do cliente, passando por características da qualidade do produto até chegar a um determinado valor de um parâmetro de controle.

O QFDr (desdobramento da função qualidade no sentido restrito), é o desdobramento de um conjunto de procedimentos gerenciais e técnicos. Estes procedimentos em conjunto formam o padrão gerencial de desenvolvimento de produto e o plano de atividades do desenvolvimento do produto, que descreve a forma que o grupo interfuncional de projeto deve trabalhar para obter o produto desejado pelo consumidor.

5.4- ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DAS FALHAS (FMEA)

A análise do Modo e Efeito da Falha (FMEA) começou a ser utilizada no final dos anos 50's. Uma FMEA é utilizada para examinar várias fontes de problemas em potencial para um sistema. Na FMEA de produto (ou projeto), identifica-se cada componente do sistema e os possíveis modos de falha associados a cada um. Para conduzir à análise desse tipo, deve-se seguir os seguintes passos:

1. Estudar cada parte do sistema, determinar sua função e listar aquelas funções críticas;

2. Postular todos os possíveis modos de falha para cada parte do sistema , examinar as causas da falha;
3. Avaliar a gravidade do dano no sistema, provocado por cada modo de falha;
4. Estimar o potencial de falha e combinar com (3). Obter então o valor total do risco e priorizar as causas dos modos de falha;
5. Recomendar reduções no potencial de falha utilizando a lista das causas dos modos de falha priorizados(desenvolvida em 4) .

O uso correto da FMEA geralmente leva à descoberta de defeitos ou problemas não detectados anteriormente. Esta técnica também pode ser utilizada para analisar projetos de processo (FMEA de processo).

5.5 - ANÁLISE DA ÁRVORE DE FALHAS (FTA)

A análise de Árvore de Falhas (FTA), é uma outra técnica utilizada no estudo de falhas em potencial do sistema. Essa difere da FMEA basicamente em dois aspectos:

- a finalidade da FTA é, estudar somente aqueles resultados negativos, (eventos de topo) considerados suficientemente sérios para demandar uma análise posterior. Já a FMEA tenta acessar a confiabilidade de cada componente no estágio de projeto;
- no procedimento, o ponto de partida da FTA é uma lista de modos de falhas indesejáveis para os quais o projetista deve dar alguma solução . A FMEA inicia com a identificação dos componentes e identifica os modos de falhas e possíveis causas para cada um deles.

Os passos para uma análise do FTA são os seguintes:

- identificar o evento topo, ou seja, o evento para o qual a ocorrência deve ser evitada para o sistema ou produto;

- entender o sistema;
- buscar as possíveis causas diretas da ocorrência do evento de topo;
- buscar as origens destas ocorrências;
- construir a árvore , relacionando as causas e origens através de símbolos lógicos e /ou;
- atribuir probabilidades de ocorrência a cada uma das causas;
- encontrar meios de evitar a ocorrência do evento topo.

A figura 5.3, resume as etapas da FTA. A FTA é muito utilizada no planejamento dos aspectos ligados à segurança do produto ou sistema.

Tanto a FMEA quanto a FTA são técnicas poderosas na prevenção de problemas. No entanto, para que essas análises sejam eficientes, há necessidade de acesso a vários tipos de informações como taxa de falhas, tempo médio de vida, tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo, entre outros (comumente chamados de medidas de Confiabilidade). Sem esses , a FMEA e a FTA são instrumentos imprecisos e , portanto, de pouco valor na identificação de áreas que merecem modificação no projeto.

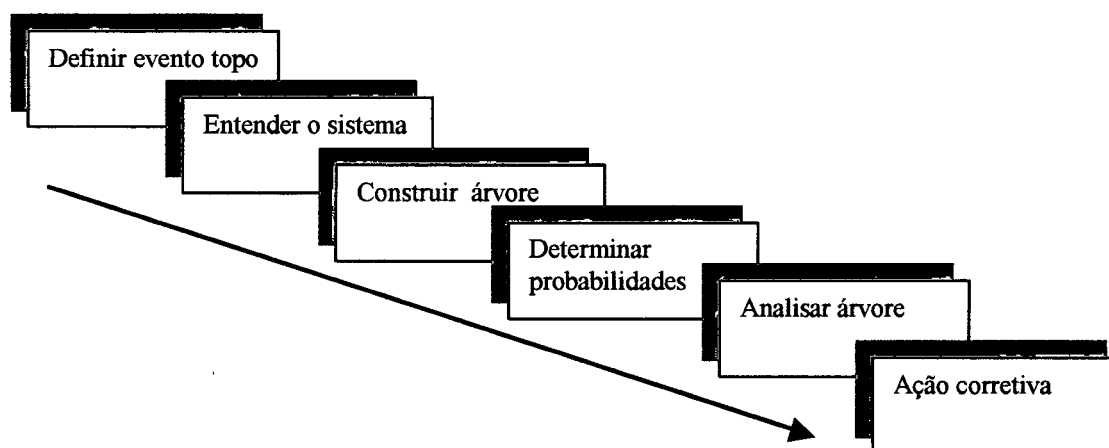


Fig. 5.3 - Resumo das etapas da FTA.

5.6- MODELO CONCEITUAL APLICÁVEL À EXTENSÃO DO PRAZO DE GARANTIA

A proposta do modelo é auxiliar o desenvolvimento de produtos focados cada vez mais nas necessidades dos clientes, de modo a permitir uma tomada de decisão para a extensão do prazo de garantia. Para que isso aconteça é necessária a execução de atividades que previnam e evitem que as falhas ocorram durante o ciclo de vida do produto e principalmente no período de garantia obrigatória.

Ao iniciar o projeto do produto, um dos requisitos básicos são os dados de entrada (voz do consumidor, mercado, modelo, classe, *features*, entre outras). O Diagrama de Processo (ver figura 5.4), exemplifica de maneira rápida o caminho de um processo genérico. Ao referenciar o desenvolvimento de um produto, a primeira etapa é a mais crítica, quaisquer que sejam as etapas seguintes. A parte principal dos dados de entrada, fundamenta-se em ouvir os desejos dos clientes e traduzir isso em requisitos de projeto do produto.

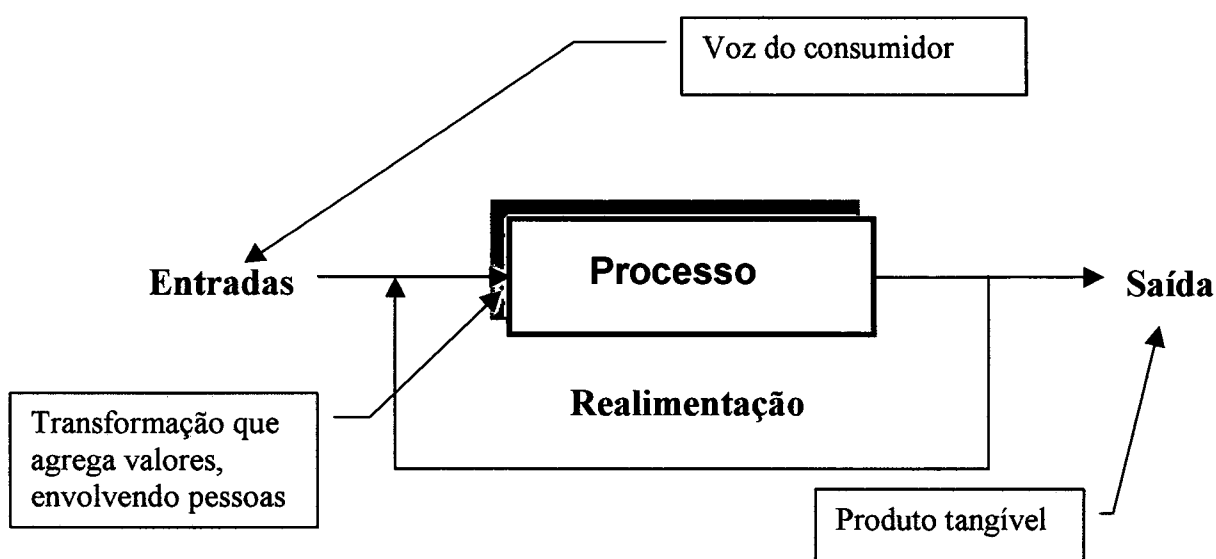


Fig.5.4 - Diagrama de Processo.

Como fazer, depende de tecnologia e da experiência do grupo de projeto, esse passa a ser um diferencial importante, para o processo de desenvolvimento do produto.

O projeto de produtos melhores, depende basicamente das especificações iniciais (vindas da voz do cliente). Uma vez tratadas e consolidadas as informações, pode-se validá-las através de *mock-up*. Entretanto a qualidade depende não apenas do cumprimento das especificações mas do grau de confiabilidade que se deseja dar ao produto. Em formas gerais traduz-se isso em falhas esperadas ao longo do tempo, esse pode refletir o grau de comprometimento que a organização tem com o cliente, (ver figura 5.5).

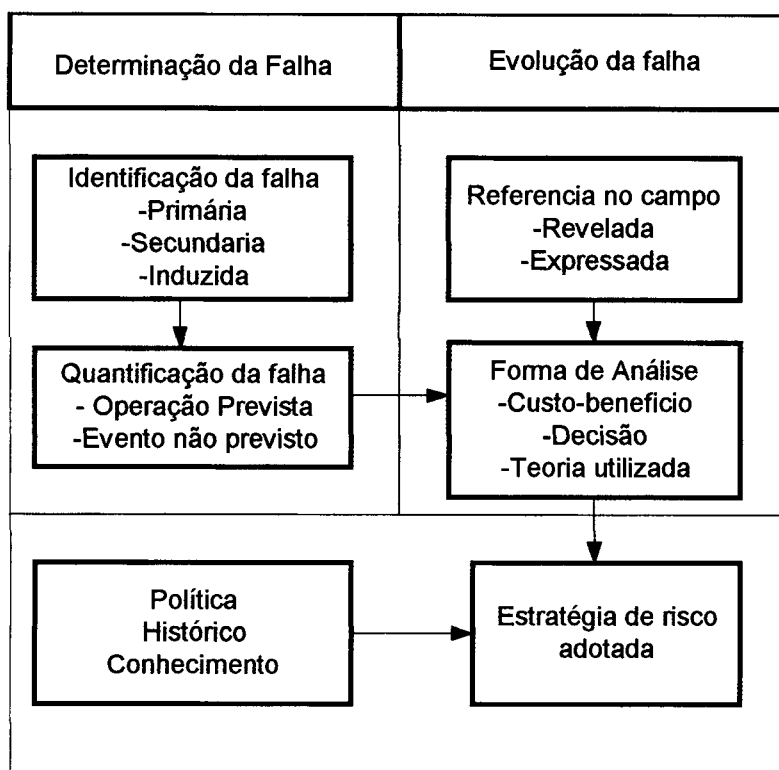


Fig. 5.5 - Estrutura de risco da falha.

Um produto com uma vida muito longa, acarreta um custo muito elevado, o cliente nem sempre está disposto a pagar. Entretanto, entender a melhor forma de atender o cliente, a um custo e qualidade aceitável é uma das principais atividades

da engenharia no projeto do produto. Entre outras atividades, destacam-se as ações que garantam que o produto não falhe nos primeiros meses de vida, atrelado a isso encontra-se a garantia legal do produto.

Na fase de concepção, o tempo de garantia do produto é uma especificação que não pode ser desprezada, justifica-se por se tratar de um dado de entrada. Uma explicação é dada através do diagrama de processo (visto na figura 5.4), a saída muda à medida que os dados de entrada são modificados, no início ou durante o projeto. Como tal os efeitos podem ser sentidos em qualquer fase do desenvolvimento do projeto, processo, fabricação ou manufatura (ver figura 5.6).

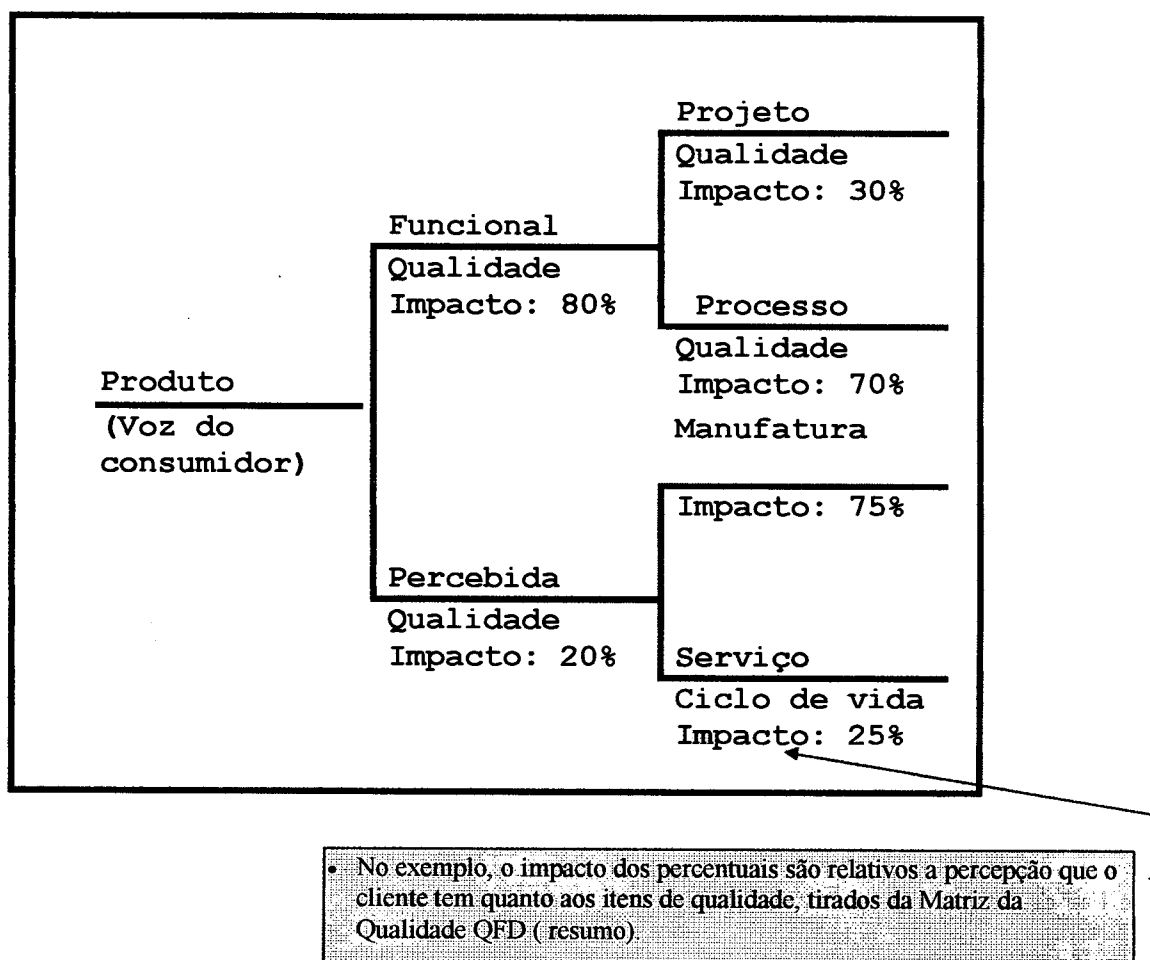


Fig. 5.6- Árvore de impacto.

A figura 5.7 apresenta o modelo proposto para diminuir as falhas ao longo do projeto.

À medida que o projeto evolui, enfrenta-se decisões que refletem nas falhas do produto, podendo torná-lo mais confiável. Todo processo é efetuado através de oito etapas em seqüência, de modo que uma depende da outra.

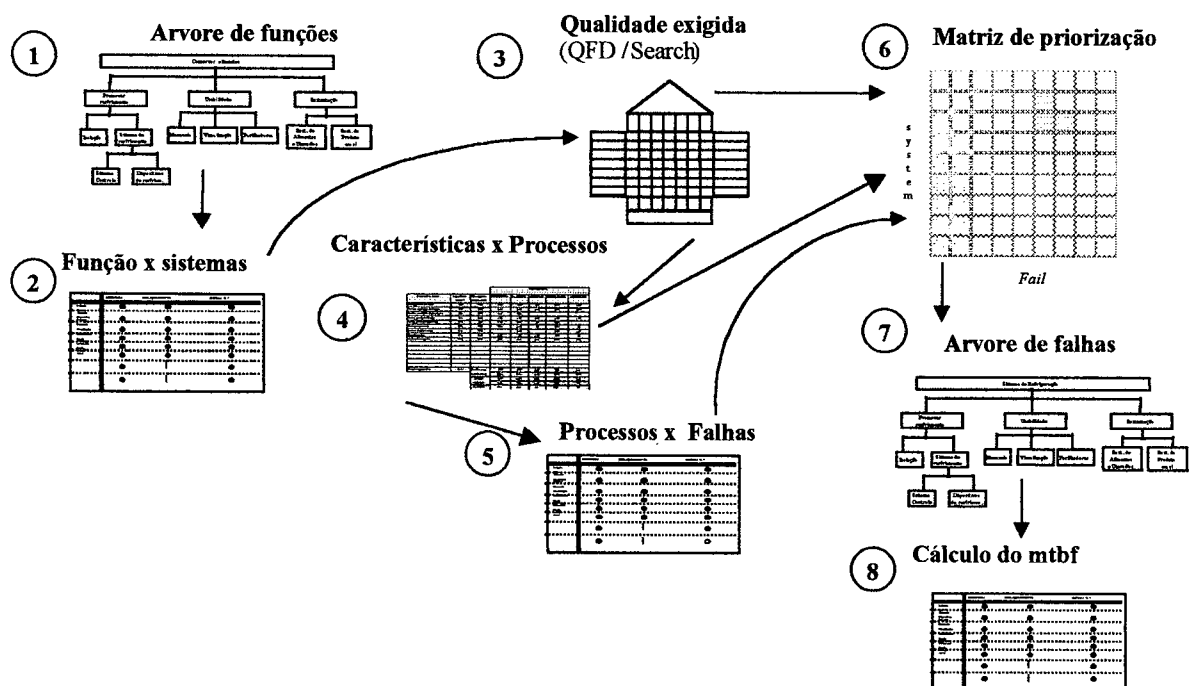


Fig. 5.7- Modelo conceitual.

5.6.1 - ETAPA 1 - LEVANTAMENTO E PREPARAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

A etapa 1, se desenvolve através do levantamento e tratamento de informações bem planejados, sendo esse um valioso recurso para a organização. Pode-se identificar necessidades, oportunidades de inovação de produtos, novos mercados entre outros.

No processo de levantamento de dados, há necessidade de colher as informações da forma mais real às necessidades dos

consumidores, de modo a identificar os pontos fortes para o projeto. Algumas fontes apropriadas de informações incluem, grupos especiais, clínicas de pesquisa, sugestões ou reclamações de clientes. Dentre as citadas, as clínicas de pesquisa tem sido largamente utilizada. Onde, parte dos dados são levantados através de entrevista direta com clientes, utilizando formulários pré-formatados. Em seguida os dados são tratados e tabulados, os quais são apresentados em formas gráficas, planilhas, tabelas ou outra forma conveniente. Onde podem-se identificar as expectativas, frustrações e satisfação dos clientes com produtos similares no mercado, onde os erros e dados menos relevantes podem ser expurgados. Nesse processo é importante a formação de um grupo de projeto interfuncional, ao qual cabe a função de tomar a decisão quanto a relevância das informações selecionadas para o projeto.

A coleta de dados pode ser realizada através de um questionário no qual se deseja:

- identificar as necessidades e desejos dos clientes a fim de dimensionar o segmento e o volume do negócio;
- identificar e classificar as funções.

Uma vez concluído o levantamento de dados, deve-se analisar e estruturar as informações de modo a ficarem claras para o grupo de projeto. Uma das ferramentas sugeridas é o diagrama *fast* (ou análise funcional). A análise funcional esclarece e avalia as funções essenciais de um produto e suas partes componentes a fim de descobrir como melhorar o produto e o seu respectivo custo.

A análise funcional consiste em uma série de análises: primeiro, as funções são definidas de modo a expressar claramente o esperado em desempenho pelo produto; depois as funções de cada sistema e componentes são ordenadas sistematicamente no diagrama *fast* (ou sistemático funcional, ver figura 5.8), de acordo com sua relação objetivo-meios, finalmente as funções são avaliadas para determinar que partes

do projeto podem ser melhoradas para obter resultados mais significativos.

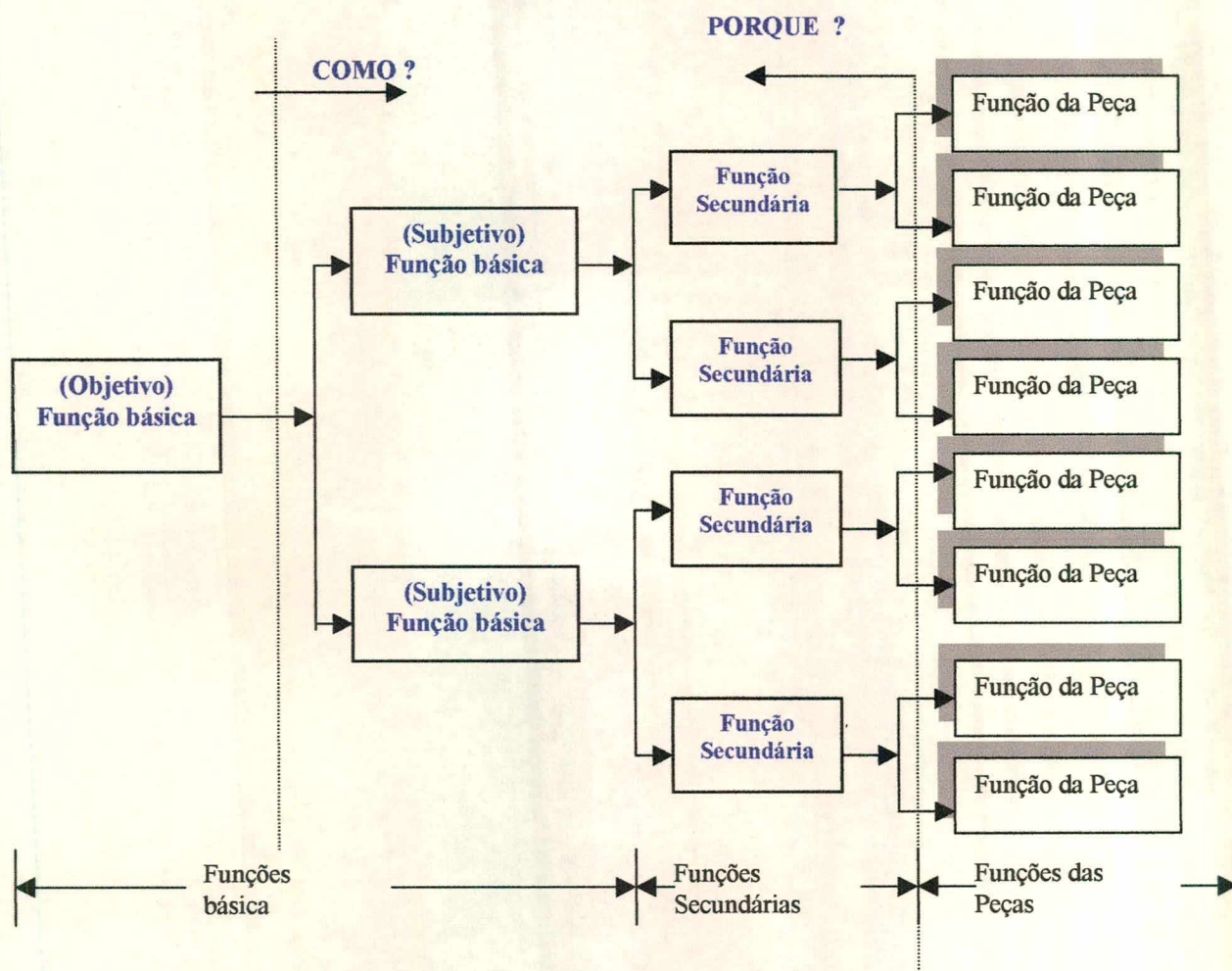


Fig.5.8 - Árvore de funções. [Mizuno, 1993]

As informações nem sempre são suficientes para uso imediato no projeto. Esta transição depende basicamente do conhecimento do grupo de projeto, que tem como missão interpretar claramente os desejos dos clientes e transformá-los em linguagem de produto (ver figura 5.9).



Fig. 5.9 - Ciclo básico cliente produto.

Uma vez determinadas as funções, necessita-se identificar quais sistemas podem desempenhar as funções requeridas (ver tabela 5.2).

Função	Sistemas	Componentes
Função básica	Sistemas-1	Componentes
Função secundária	Sistemas-2	
	Sistemas-3	
	Sistemas-4	
Função básica	Sistemas	Componentes

Tabela 5.2 - Desdobramento das funções a componentes.

Desta etapa obtém-se como resultado duas tabelas:

- tabela de funções;
- tabela dos sistemas.

5.6.2 - ETAPA 2 - MATRIZ FUNÇÃO X SISTEMAS

Esta etapa consiste em cruzar as tabelas de funções e sistemas obtidos na etapa 1, formando uma matriz (ver tabela 5.3) a qual terá como resultado a priorização dos sistemas .

Função \ Sistema	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6	Sistema 7	Sistema 8	total
	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	
Função A	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	40,00
Função B	5,00	4,00	5,00	4,50	5,00	5,00	4,00	5,00	37,50
Função C	5,00	Somatória das correlações		5,00	5,00	3,00	5,00	5,00	36,00
Função D	5,00			2,00	2,00	5,00	Peso relativo		34,00
Função E	4,90	3,90	4,90	1,00	1,00	4,90	4,90	4,90	30,40
Função F	4,70	4,70	5,00	4,70	4,70	5,00	4,00	4,70	37,50
Função G	4,50	4,50	3,50	4,50	4,50	4,50	4,00	4,50	34,50
Função H	3,00	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,00	34,00
Função I	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	4,00	33,00
Importancia	41,10	40,60	39,90	35,20	35,70	40,90	41,40	42,10	316,90
%	12,97	12,81	12,59	11,11	11,27	12,91	13,06	13,28	

Tabela 5.3 - Matriz Funções x Sistemas.

Para o cruzamento das tabelas, deve-se obedecer a determinados critérios, consensados pelo grupo de projeto. Porém os critérios descritos, podem ter valores diferentes dependendo exclusivamente do grupo em definir quais valores refletem melhor a realização da função (ver tabela 5.4). Os valores intermediários dependem também da sensibilidade do grupo em mensurar os sistemas e funções.

Categoria	valor	Descrição
Alta	$4 \leq \text{Valor} \leq 5$	O sistema realiza 70 a 100% da função
Média	$3 \leq \text{Valor} < 4$	O sistema realiza 40 a 69% da função
Fraca	$1 \leq \text{Valor} < 3$	O sistema realiza 10 a 39% da função
Nenhuma	0	Nenhuma correlação

Tabela 5.4 - Critérios para preenchimento da matriz Funções x Sistemas.

5.6.3 - ETAPA 3 - MATRIZ DO QFD

O QFD, permite que uma grande quantidade de informações seja reunida, de maneira concisa, em forma de matriz. Seu formato gráfico é muito eficaz quanto à visualização e entendimento das informações. A aplicabilidade do QFD facilita muito em termos de documentação e histórico do desenvolvimento de um produto. Toda ação tomada durante o projeto do produto pode ser avaliada quanto ao impacto e riscos para atendimento das qualidades exigidas.

A matriz do QFD, é elaborada a partir dos resultados da pesquisa realizada junto ao cliente, a qualidade exigida é frequentemente conhecida como a voz do cliente. Para preencher

a tabela da qualidade exigida deve-se compilar os dados dos clientes , etapa 1, são os (Os QUEs) da matriz. Uma segunda tabela são os requisitos de projetos desdobrados da qualidade exigida por sistemas , são os (Como) a principio deve existir pelo menos um **COMO** , para cada **O QUE**. A correlação entre **Os QUEs** e os **COMOs** dá-se através de cruzamento entre filas e colunas. A intensidade desta correlação é expressada através de símbolos: correlação muito forte \odot , correlação forte \circ , correlação Δ . Não havendo correlação não se emprega símbolo algum. Outra parte importante da matriz é o telhado, que não será abordado, pois sua utilização serve para identificar as correlações existentes entre os **COMOs**. Essas correlações são usadas para identificar onde existe conflito entre os requisitos e onde devem ser tomadas decisões de compromisso entre requisitos. Os símbolos são introduzidos na interseção de cada dois **COMO** : positiva forte \odot - um **COMO** apoia bem o outro, positiva \circ - um **COMO** apoia o outro; negativa **X** - um **COMO** prejudica outro; negativa forte **#** - um **COMO** prejudica fortemente o outro(ver tabela 5.5).

Como na priorização das características (requisitos de projeto) cada símbolo na matriz tem um peso atribuído, convencionou-se os valores de 9-3-1 respectivamente, forte, médio e fraco. Quando os símbolos são introduzidos no cruzamento da linha por coluna, estes são multiplicados pelos pesos dos símbolos e somados verticalmente. O total dos valores representam a importância absoluta isso indica como cada requisito de projeto contribui para a máxima satisfação do cliente.

Tem-se através da matriz do QFD, as características do produto priorizadas através dos pesos somados na coluna. Estes pesos contemplam o grau de importância dada pelo cliente, à situação frente aos concorrentes e a importância quanto ao mercado.

O QUE \ COMO			Sistema 1					Sistema 2			
			Característica 1	Característica 2	Característica 3	Característica 4	Característica 5	Característica 6	Característica 7	Característica 8	Característica 9
abstrata nível 1	nível 2	nível 3 - concreta	⊙			Δ	Δ	Δ	⊙	⊙	
		nível 3 - concreta	⊙	⊙	⊙	○	Δ	○	⊙	⊙	
		nível 3 - concreta	⊙	⊙	⊙				○	○	
	nível 2	nível 3 - concreta	○	Δ			Δ				
		nível 3 - concreta	○	○	○		⊙		○	○	
		nível 3 - concreta					○				
		nível 3 - concreta									
		nível 3 - concreta									
		nível 3 - concreta									
		nível 3 - concreta									
nível 1	nível 2	nível 3 - concreta									
		nível 3 - concreta									
	nível 2	nível 3 - concreta	○	Δ	Δ	○		⊙			
		nível 3 - concreta	○	○	○	⊙					
	nível 2	nível 3 - concreta									
		nível 3 - concreta									
	nível 2	nível 3 - concreta									
	nível 2	nível 3 - concreta									
	nível 2	nível 3 - concreta						○	○	○	
	nível 2	nível 3 - concreta						○	○	○	

Tabela 5.5 - Matriz da qualidade (QFD).

5.6.4 - ETAPA 4 - MATRIZ CARACTERÍSTICAS X PROCESSOS

Como foi visto na etapa anterior a elaboração da matriz da qualidade (QFD), é empregada para desdobrar a voz do cliente, parte-se da qualidade abstrata, expressada pelo cliente, para qualidade concreta (interpretação da qualidade abstrata). Um dos

resultados do desdobramento da qualidade exigida, é a tabela da característica de qualidade . Quando é realizada a correlação entre qualidade exigida e característica da qualidade, avalia-se quais características atendem ao maior número de qualidade exigida. Obtêm-se assim uma tabela de características priorizadas pela somatória dos pesos das correlações.

Outra tabela necessária, é a de processos, obtida pelo levantamento de todos os processos necessários, para realização do produto. Esta tabela deve ser avaliada pelo grupo de projeto, de modo a definir quais são as mais importantes e assim compor a tabela de processos. O preenchimento da matriz, como na etapa 2, deve seguir os critérios definidos pelo grupo de projetos, de modo a facilitar seu entendimento(ver tabela 5.6).

Categoria	valor	Descrição
Alta	$4 \leq \text{Valor} \leq 5$	A característica é muito afetada pelo processo 70 a 100%
Média	$3 \leq \text{Valor} < 4$	A característica é afetada pelo processo 40 a 69%
Fraca	$1 \leq \text{Valor} < 3$	A característica pode ser afetada pelo processo, 10 a 39%
Nenhuma	0	A característica não é afetada pelo processo .

Tabela 5.6 - Critérios para preenchimento da matriz característica x processos.

É conveniente salientar que os critérios da tabela 5.6, são orientativos, podem ser mudados conforme a forma de trabalho do grupo.

Uma vez determinado o peso de cada correlação, o resultado é obtido pela somatória de todos os pesos da coluna representados por símbolos ou valor numérico. As características representam as especificações que mais tarde se transformarão em requisitos de componentes. A importância da

matriz características x processos, no contexto está em priorizar os processos que definem as características que comprometem o atendimento da qualidade exigida (ver tabela 5.7).

Proces	Proces.1	Proces.2	Proces.3	Proces.4	Proces.5	Proces.6	Proces.7	Proces.8	
Caract.	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	total
Caract.1	3,00	3,00	1,00	0,00	1,00	5,00	5,00	2,00	20,00
Caract.2	2,00	4,00	5,00	4,50	0,00	5,00	4,00	5,00	29,50
Caract.3	Somatória das correlações		3,00	5,00	5,00	0,00	Peso relativo		15,00
Caract.4	Somatória das correlações		0,00	2,00	2,00	5,00	Peso relativo		28,00
Caract.5	5,00	0,00	4,90	5,00	4,00	4,90	3,00	4,90	31,70
Caract.6	5,00	4,70	5,00	0,00	2,00	5,00	4,00	4,70	30,40
Caract.7	3,00	4,50	2,00	4,50	0,00	3,00	4,00	4,50	25,50
Caract.8		1,00	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,00	29,50
Caract.9	0,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	0,00	5,00	25,00
Importância	24,00	27,20	29,40	29,50	22,50	36,40	30,50	35,10	234,60
%	10,23	11,59	12,53	12,57	9,59	15,32	13,00	14,96	

Tabela 5.7 - Matriz características x processos.

5.6.5 - ETAPA 5 : MATRIZ PROCESSOS X FALHAS

Para elaboração da matriz processos x falhas, deve-se obter a tabela de falhas de campo e de processos. A de processos é obtida da etapa 4. A tabela de falhas de campo do produto, requer uma investigação detalhada do histórico do produto. Assim pode-se identificar através da estratificação dos dados de campo os principais focos de problemas, a fim de evitar que este seja introduzido no novo projeto.

A desvantagem consiste em que os dados nem sempre são consistentes, conforme abordado no Capítulo 3, há necessidade de uma análise mais detalhada, a fim de expurgar as inconsistências. Isto torna a elaboração da tabela de falhas mais trabalhosa.

O preenchimento da matriz, segue o mesmo procedimento da etapa anterior. A correlação basicamente reside no conhecimento do grupo, quanto mais experiente for o grupo, maior

será a colaboração na identificação da origem das falhas. Embora seu preenchimento seja empírico, a grande vantagem consiste no trabalho de equipe, equalizando o conhecimento de todos e distribuindo as responsabilidades (ver tabela 5.8).

Categoria	valor	Descrição
Alta	4<=Valor <=5	Grande a possibilidade da falha ter sido originado, pelo processo. 70 a 100%
Média	3<=Valor <4	Média a possibilidade da falha ter sido originado, pelo processo 40 a 69%
Fraca	1<=Valor <3	Baixa a possibilidade da falha ter sido originado, pelo processo 10 a 39%
Nenhuma	0	Não existe a possibilidade da falha ter sido originado, pelo processo.

Tabela 5.8- Critérios para preenchimento da matriz processo x falhas.

O grande benefício dessa matriz, reside na análise dos processos existentes como origem das falhas e ao mesmo tempo priorizar as falhas mais críticas para tomada de ações preventivas (ver tabela 5.9).

Falha	Falha 1	Falha 2	Falha 3	Falha 4	Falha 5	Falha 6	Falha 7	Falha 8	
Proces.	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	Total
Processo1	5,00	3,00	0,00	0,00	1,00	5,00	5,00	2,00	21,00
Processo2	5,00	4,00	0,00	4,50	0,00	5,00	4,00	0,00	22,50
Processo3	4,00	1,00	3,00	5,00	5,00	0,00	1,00	0,00	19,00
Processo4	5,00	5,00	0,00	2,00	2,00	1,00	5,00	5,00	25,00
Processo5	5,00	5,00	5,00	3,00	2,00	1,00	Falhas do produto	5,00	29,00
Processo6	5,00	1,00	4,00	0,00	2,00	2,00		4,00	19,00
Processo7	0,00	4,00	2,00	0,00	0,00	4,00	3,00	4,50	17,50
Processo8	0,00	5,00	3,00	0,00	4,00	4,00	5,00	4,00	25,00
Processo9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Importancia	29,00	28,00	17,00	14,50	16,00	22,00	27,00	24,50	178,00
%	16,29	15,73	9,55	8,15	8,99	12,36	15,17	13,76	

Tabela 5.9 - Matriz processo x falhas de campo do produto.

O resultado, como citado anteriormente consiste na priorização das falhas mais críticas, tendo como origem o processo. Isto possibilita a troca de informações entre as diversas áreas, de modo que as ações convirjam para um mesmo objetivo, evitar que as falhas ocorram.

5.6.6 - ETAPA 6 : MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO

Todas as etapas anteriores forneceram subsídios para priorizar os fatores mais importantes do projeto, através do consenso do grupo de projeto, centrado na voz do consumidor. Entretanto o processo de tomada de decisão é muito complexo, assim a matriz de priorização serve como um balizador das etapas anteriores .

Dessa maneira , a matriz visa a validar as priorizações anteriores e fortalecer o processo de tomada de ações, que visam eliminar as falhas consideradas pelo grupo de projetos, como as mais críticas. Cada um dos critérios foi conceituado e detalhado para guiar a análises e preenchimento da matriz de priorização(ver tabela 5.9).

Na matriz de priorização, tem-se no eixo das abcissas as falhas e na ordenada os sistemas, no cruzamento central dos eixos obtem-se a divisão em 4 campos. O objetivo é priorizar as falhas e os sistemas que são afetados pelas falhas, visto que uma determinada falha afeta dois ou mais sistemas. Para o preenchimento da matriz é necessário a elaboração de duas tabelas auxiliares que visam :

- estabelecer pesos para sistemas ;
- estabelecer pesos para falhas.

Para estabelecer os pesos dos sistemas necessita-se elaborar uma tabela que represente os fatores que podem afetar os sistemas. A análise dos sistemas dá-se através dos

seguintes fatores: processo; função; nível de interação entre componentes novos ; características de projeto (QFD) e defeito de campo. Para elaborar a tabela de sistemas deve-se seguir os passos abaixo:

Passo 1- listar os sistemas mais importantes, definidos anteriormente;

Passo 2- listar os fatores mais importantes que podem influenciar no bom desempenho do sistema ;

Passo 3- Atribuir pesos aos fatores de acordo com o grau de importância em relação ao projeto;

Passo 4- Proceder à correlação quanto ao grau de importância de 1 à 5 , onde 1 é muito baixa; 2 é baixa; 3 é média; 4 é alta ; 5 é muito alta;

Passo 5- multiplicar cada peso pela correlação e somar a linha de modo a compor o todo de cada sistema.

Os pesos podem variar de grupo para grupo de projeto. A tabela 5.10, apresenta os fatores mais importantes que podem influenciar no projeto dos sistemas.

SISTEMA	CRITÉRIOS / PESOS					
	Processo	Função	Nível Interação entre componentes novos	Característica (QFD)	Defeito de campo	Pontuação do Sistema
	30%	30%	10%	10%	20%	100%
SISTEMA 1	2	5	3	2	5	3,60
SISTEMA 2	4	5	3	3	5	4,30
SISTEMA 3	5	4	3	2	1	3,40
SISTEMA 4	3	4	3	3	3	3,30
SISTEMA 5	1	4	3	4	5	3,20
SISTEMA 6	1	4	3	3	5	3,10
SISTEMA 7	1	5	4	3	5	3,50
SISTEMA 8	1	5	4	3	2	2,90
SISTEMA 9	2	5	4	3	3	3,40

Tabela 5.10 - Determinação dos pesos dos sistemas.

Para elaboração da tabela das falhas segue-se o mesmo procedimento realizado para a tabela dos sistemas, como resultado obtêm-se a tabela 5.11.

SISTEMA	NOTA	FALHAS	CRITÉRIOS FALHAS / PESO				PONT. FORNEC.
			Nível Tecnológico Testes	Histórico de Campo	Deteção Interna	FTA	
			25%	30%	20%	25%	
SISTEMA 1	3,60	FALHA 1	3	5	3	5	4,10
		FALHA 2	3	3	1	1	2,10
SISTEMA 2	4,30	FALHA 1	3	3	3	3	3,00
		FALHA 2	3	1	1	1	1,50
SISTEMA 3	3,40	FALHA 1	3	3	5	5	3,90
		FALHA 2	1	3	1	3	2,10
SISTEMA 4	3,30	FALHA 1	5	3	5	5	4,40
		FALHA 2	3	5	3	3	3,60
SISTEMA 5	3,20	FALHA 1	5	3	5	5	4,40
		FALHA 2	3	5	3	3	3,60
SISTEMA 6	3,10	FALHA 1	5	1	3	3	2,90
		FALHA 2	5	5	1	5	4,20
SISTEMA 7	3,50	FALHA 1	3	1	2	1	1,70
		FALHA 2	3	1	1	2	1,75
SISTEMA 8	2,90	FALHA 1	1	1	1	3	1,50
		FALHA 2	1	3	2	3	2,30
SISTEMA 9	3,40	FALHA 1	1	1	1	3	1,50
		FALHA 2	1	1	1	3	1,50

Tabela 5.11 - Determinação dos pesos das falhas.

O resultados das tabelas 5.10 e 5.11 são transportados para a matriz de priorização (ver tabela 5.12), estes resultados são plotados de modo a ter uma fácil identificação. A tabela é dividida em quatro campos, sendo que o eixo da ordenada tem uma escala de 1 à 5, e segue o mesmo para o eixo da abcissa. O significado de cada campo da matriz é descrito a seguir:

- Campo 1- sistemas e falhas críticas , quando a pontuação cai nesta área é necessário atuar de forma a eliminar as falhas, minimizando os riscos para os sistemas. Sua ocorrência com certeza afetará o produto;
- Campo 2- sistemas críticos e nível de criticidade da falha é baixa, nesta área é dado maior importância ao sistema, porém a mínima chance de ocorrer a falha deve ser evitada a fim de não comprometer o sistema;

- Campo 3- sistemas com criticidade baixa e alto índice de falhas, deve-se evitar ou reduzir a ocorrência das falhas;
- Campo 4- sistemas e falhas com criticidade baixa , apesar de ser menos importante em termos de pontuação, deve-se analisar se os riscos das falhas ocorrerem, essas podem ou não afetar os sistemas.

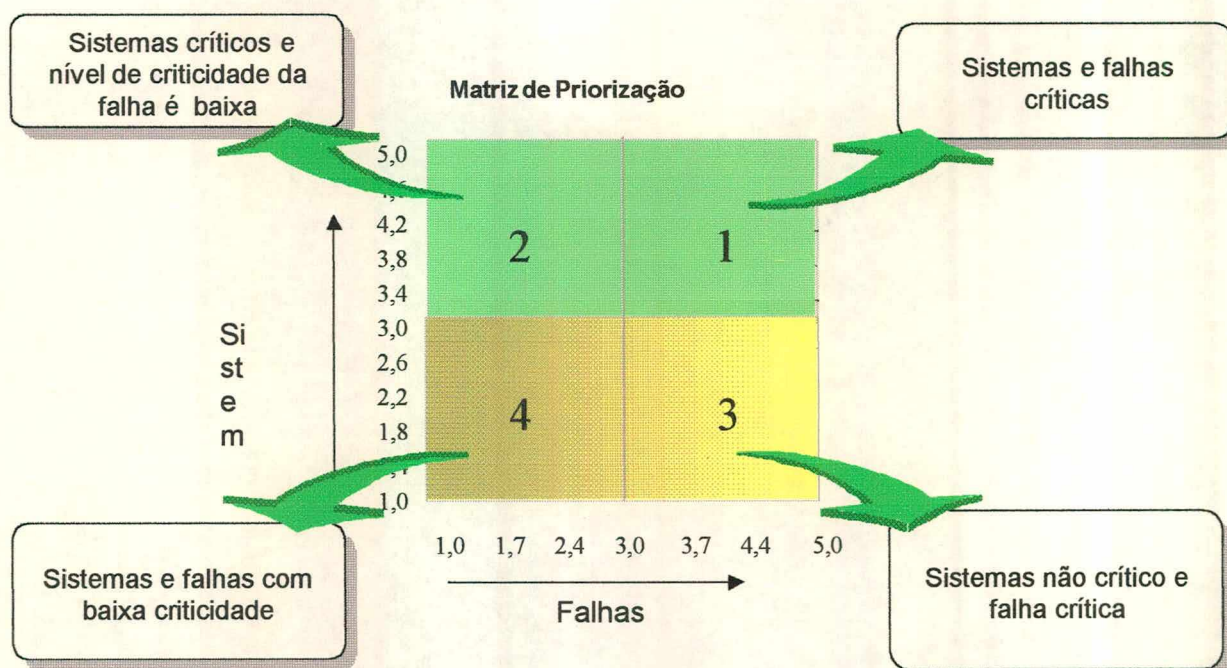


Tabela - 5.12 - Matriz de Priorização

5.6.7 - ETAPA 7 : ÁRVORE DE FALHAS

Nesta etapa deve-se enfatizar que, a determinação da falha é complexa, não só inclui as correlações entre as variáveis existentes em um sistema, mas também abrange a natureza de cada variável. Por exemplo, as funções, tem origem direta na voz do cliente.

A matriz de prioridade descrita anteriormente, tem como resultados as falhas mais críticas relacionadas aos sistemas. Isto serve de *input* para elaborar a árvore de falhas.

A árvore de falhas é um procedimento detalhado através de um diagrama lógico que tem sido aplicado para desenvolver sistemas, subsistemas, processos e componentes com a intenção de prever e avaliar o maior número de falhas possíveis. Uma vez escolhido o evento topo (falha) deve-se desdobrá-lo até o nível básico componente ou processo(ver figura 5.10).

Os eventos mais básicos, são terminais, não há mais ramificações, são as causas fundamentais das falhas ou o primeiro efeito de uma causa fundamental. Cada evento pode estar associado a uma probabilidade de falha, uma análise matemática da árvore de falhas estabelece a taxa de falha de cada evento de topo.

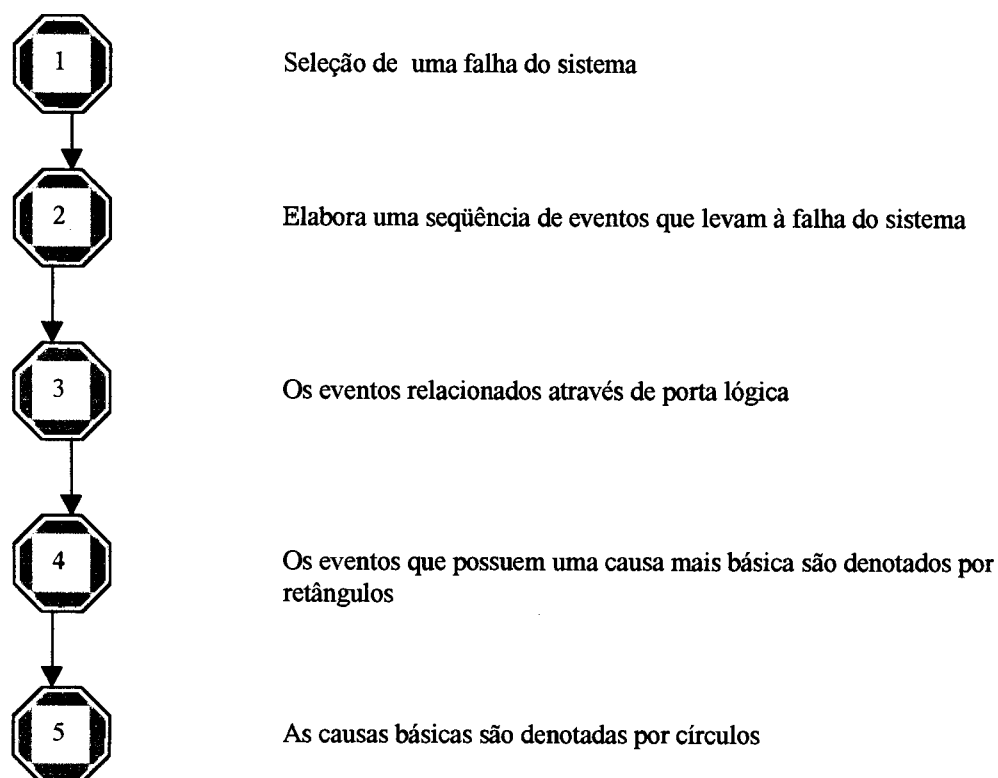
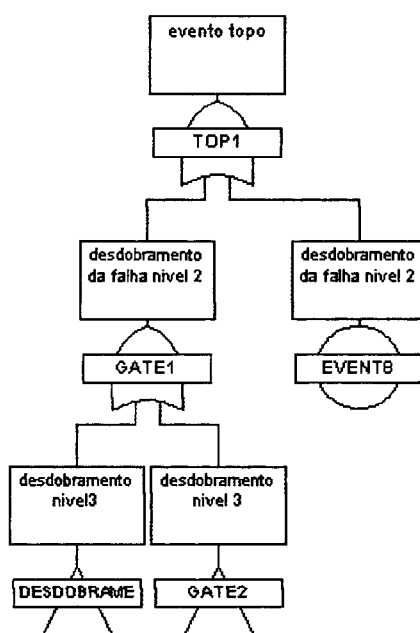


Fig. 5.10 - Estrutura de uma árvore de falhas. [Análise de Falhas-F.C.A. 1995]

Uma dificuldade da árvore de falhas reside na falta de dados tabelados, de taxas de falhas para os eventos básicos, isto tem levado na maioria das vezes, a usar a árvore de falhas, apenas qualitativamente. Na análise da árvore de

falhas, tem-se que, quanto maior for a quantidade de ramificações, maior será a quantidade de eventos básicos (ver figura 5.11), em consequência maior será a complexidade para o cálculo da probabilidade de ocorrer o evento topo.

Para se obter a taxa de falhas é necessário a execução de testes específicos para cada um dos eventos básicos. Assim através dos resultados dos testes pode-se obter a



confiabilidade do componente ou processo analisado.

Fig. 5.11 - Árvore de falha.

5.6.8 - ETAPA 8 : CÁLCULO DO MTBF

Nesta etapa começam a se concretizar as bases para a tomada de ações. Para se calcular o MTBF (tempo médio entre falhas) é necessário obter os resultados dos testes que foram elaborados na etapa anterior pela árvore de falha. Com isto chega-se aos sistemas e suas falhas críticas. Os testes avaliam e validam a necessidade de melhorar a robustez do sistema ou não, pelo surgimento da falha. Os testes tem sua importância por dois aspectos:

- A realização dos testes propicia, um melhor entendimento sobre o fenômeno estudado. Conhecendo suas causas e mecanismos de ocorrência através da simulação de falha, o qual é revertido em informações úteis para uma tomada de ação no sentido de prevenir ou eliminar a(s) falha(s);
- Outro aspecto refere-se ao custo total da execução dos testes. Conforme o fenômeno que se quer investigar , necessita-se de equipamentos especiais, pessoas qualificadas, tempo, entre outros fatores. Isto pode tornar os testes proibitivos.

Ao elaborar a árvore de falhas obtêm-se os modos de falhas do evento topo ,com a falha analisada, realizam-se testes para verificar a ocorrência ou não, do modo de falha. Para isto deve-se tomar uma amostra, de modo que seja representativa e assim realizar os testes. De posse dos resultados, estes devem aderir a um tipo de distribuição estatística conhecida, de modo a calcular o MTBF.

Após a realização dos testes, tem que se analisar os resultados para identificar erros grosseiros ou até mesmo valores que embora verdadeiros, se distanciam dos demais. A identificação do tipo de distribuição é importante o que possibilita usar as equações estatísticas que representam a amostra testada. Com isso pode-se calcular o MTBF com uma melhor aproximação do MTBF verdadeiro.

Uma vez calculado o MTBF, pode-se através deste valor do MTBF conhecer o quanto confiável é o produto e assim estimar o tempo de garantia. No entanto, se o MTBF calculado não satisfizer a condição de projeto, pode-se melhorar o MTBF através da aplicação do modelo de Duane descrito no Capítulo 4 . Uma vez chegado no MTBF desejado, obtêm-se as informações necessárias para dar subsídios a uma tomada de decisão, quanto a estender ou não, o prazo de garantia. Para isto deve-se planejar a melhoria desejada, através da aplicação do modelo de Duane, descrito no Capítulo 4 .

CAPÍTULO 6- APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

O modelo desenvolvido no Capítulo 5, foi aplicado em um produto linha branca (ver figura 6.1). Entretanto sua aplicabilidade pode ser estendida a outro produto ou equipamento de qualquer outro segmento de mercado.

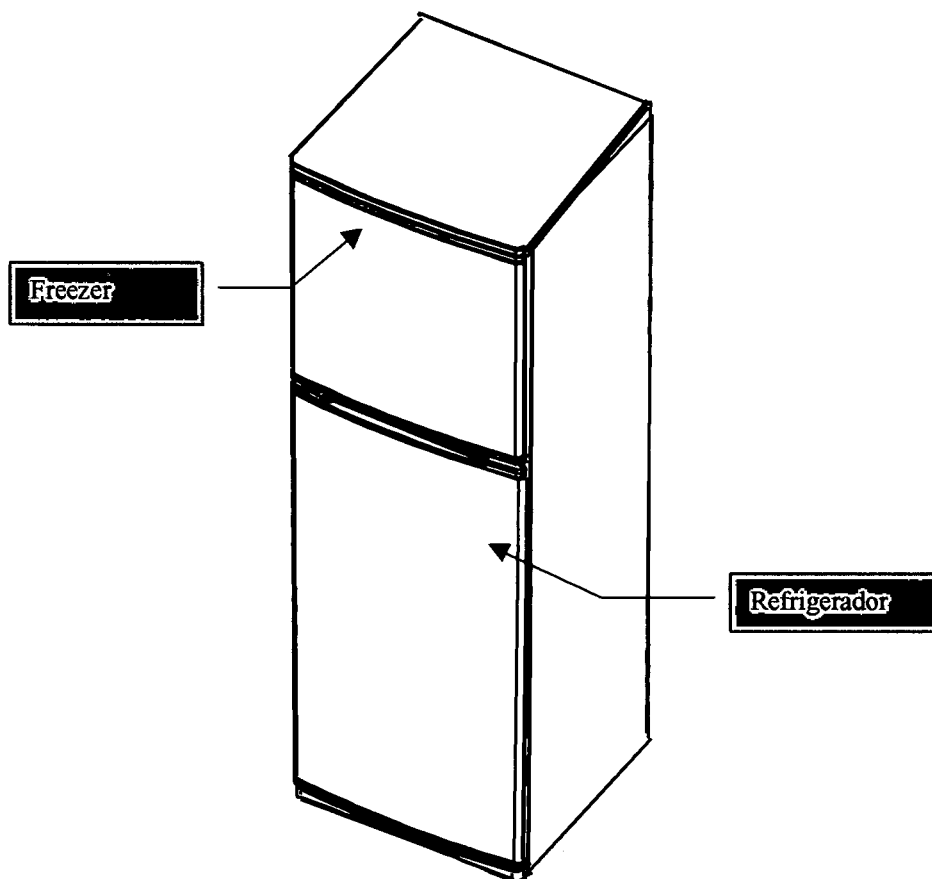


Fig.6.1 - Refrigerador de 2 portas.

6.1 -ETAPA 1 : LEVANTAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA

Nessa etapa de acordo com o modelo conceitual (ver figura 5.7), inicia-se o processo de desenvolvimento do produto. O desdobramento da qualidade do produto, tem como ponto inicial as informações obtidas da voz do consumidor(dados de entrada).

As funções são extraídas dos resultados da pesquisa, em seguida são trabalhadas e dispostas de forma a identificar corretamente o desejo do cliente. A figura 6.2 , apresenta uma árvore confeccionada a partir da análise funcional .Nessa figura tem-se uma parte do produto desdobrada em funções necessárias para atender aos desejos do cliente.

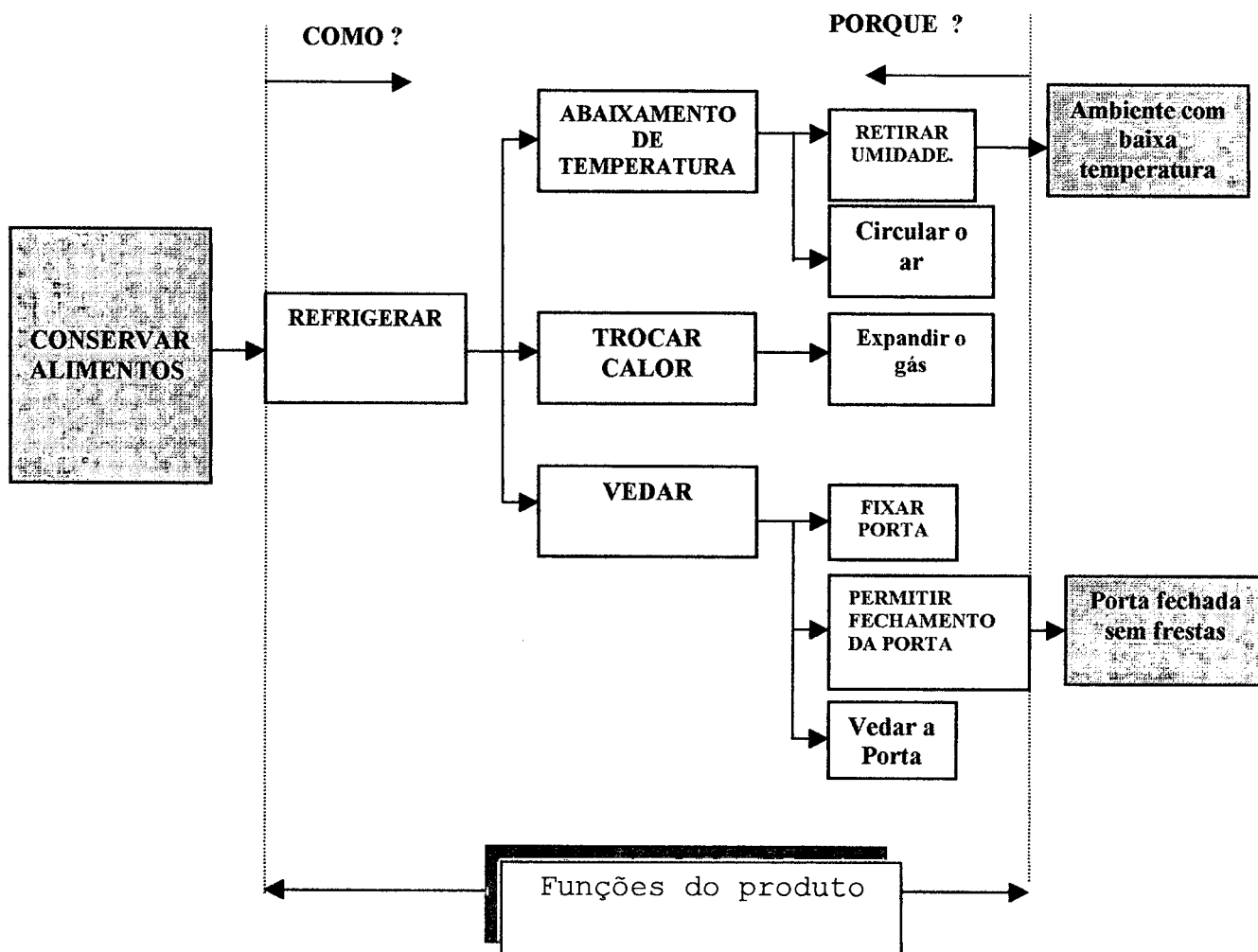


Fig.6.2 - Árvore de funções.

Na tabela 6.1, tem-se a voz do cliente desdobrada até ao nível de qualidade concreta, ou seja tentar traduzir o que o cliente deseja em algo fácil de entender e em linguagem de projeto.

Nível 1	Nível 2	Nível 3
Permitir harmonia ambiente externo	Permitir embutimento	
	Ter qualidade no acabamento	
Facilitar limpeza	Externa	Ter acabamento fácil de limpar
		Reduzir frestas
		Ser segura para limpar
		Ter fácil movimentação
	Interna	Ter acabamento fácil de limpar
		Reduzir frestas
		Ser seguro para limpar
		Ter fácil remoção dos componentes
	Ambiente	Ter fácil movimentação
	Ser fácil de travar	
	Ser fácil de nivelar	
Ser bonito	Acabamento	Ter brilho
		Ter pouca folga
		Sem deformações
Ser durável	Não enferrujar	
	Não quebrar	
	Funcionar adequadamente	
Ser fácil de usar	Fazer pouca força	
	Permitir fácil remoção	de componentes
	Ter rigidez estrutural	
Ter bom desempenho	Ser silencioso	
	Ter baixo consumo	
	Ter boa vedação	
	Evitar contaminação de odores	
	Evitar suor externo	
	Ter maior eficiência no degelo	
	Evitar vazamento de gás	
Ser segura para usar	Atender à norma de segurança	Não ter risco de acidentes
Abstrata	Transição	Concreta

Tabela 6.1- Voz do consumidor desdobrada.

É importante ressaltar que , as atividades são desenvolvidas pela equipe de projeto, ou time interfuncional específico para cada atividade designada.

6.2 -ETAPA 2 : MATRIZ FUNÇÃO X SISTEMAS

Nesta etapa, tem-se as tabelas de sistemas do produto e as respectivas funções. Originada da etapa anterior que consistia em agrupar funções por afinidade e assim compor a árvore de funções, priorizando as funções mais importantes e complementando com as novas funções. Na seqüência define-se os sistemas do produto , que poderão desempenhar as funções descritas. Na figura 6.3, tem-se um exemplo de sistemas do produto e seus principais componentes.

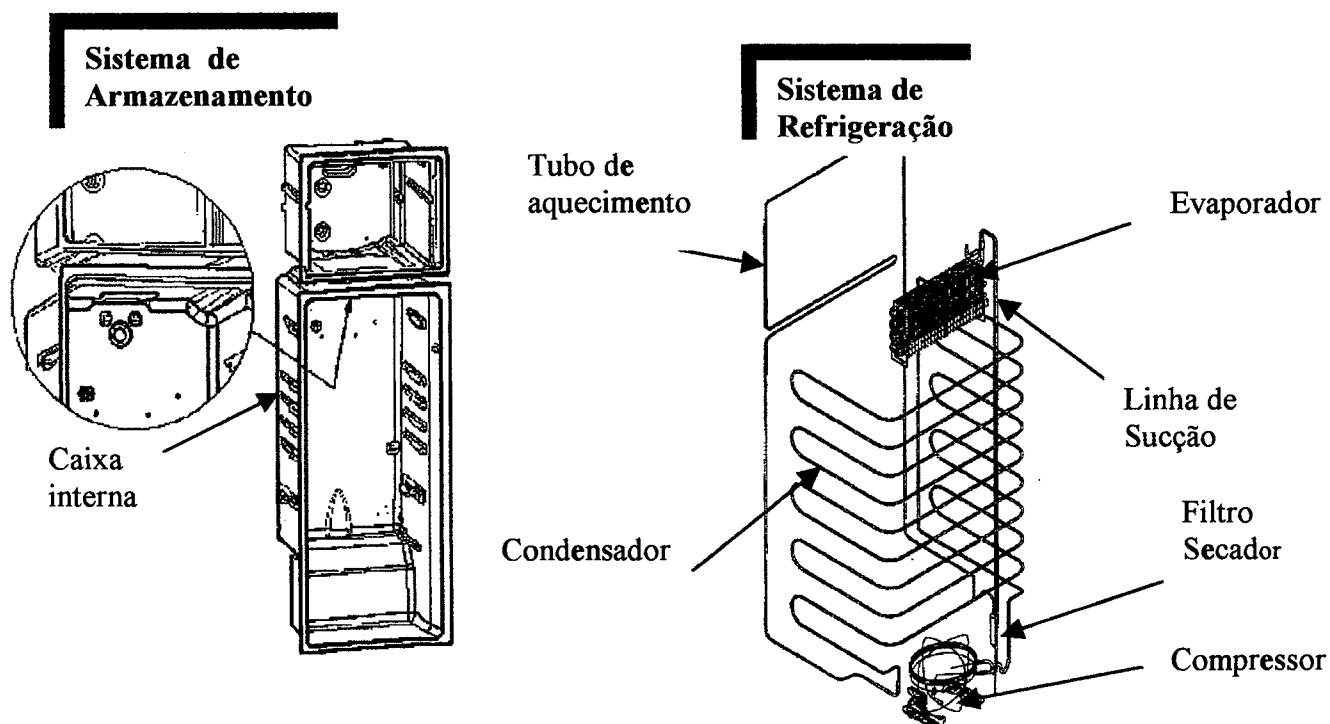


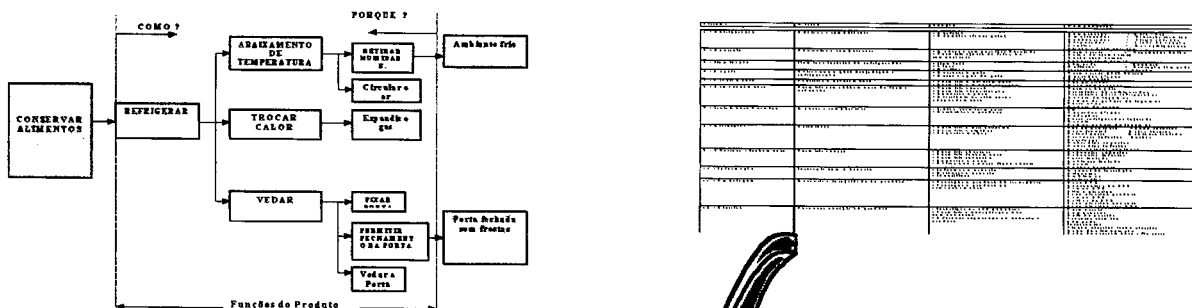
Fig.6.3 - Exemplo de sistemas de um refrigerador.

Na tabela 6.2 tem-se o resultado do desdobramento das funções e sistemas até o nível de componentes, realizado a partir da análise das funções.

Sistema	Missão	Função	Componentes
1 - Refrigeração	Abaixar a temperatura	- Resfriar - Congelar (fazer gelo)	Compressor - Relê / Ptc Amortecedor - Protetor térmico Condensador - Filtro secador Evaporador - Linha de sucção Capilar - Gás refrigerante Fiação / Alimentação
2 - Controle	Controlar a temperatura	- Manter a temperatura desejada - Permitir ajuste da faixa de temperatura	Termostato - Prendedor bulbo Caixa do termostato Botão termostato Suporte termostato
3 - Iluminação	Iluminar interior do refrigerador	- Iluminar - Ligar - Desligar	Lâmpada - Soquete Defletor - Proteção lâmpada Interruptor - Fiação
4 - Degelo	Evitar que o gelo prejudique a refrigeração	- Derreter o gelo - Reter a água do gelo	Termostato push-button Aparador d'água Botão degelo
5 - Nivelamento	Facilitar o nivelamento	- Permitir o nivelamento - Permitir a movimentação	Pés plásticos Base compressor
6 - Armazenamento	Permitir armazenamento de forma ordenada	- Permitir acesso - Permitir visualização - Suportar o peso - Distribuir os alimentos adequadamente	Formas de gelo Prateleira do refrigerador Prateleira porta refrigerador Gaveta de legumes Tampa da gaveta de legumes Porta ovos Gaveta de carne
7 - Isolamento Térmico	Manter a temperatura	- Isolar termicamente - Estruturar o produto	PU Aparador d'água Vedações Porta refrigerador injetada Gaxeta Tampa gaveta de legumes
8 - Estrutural	Estruturar	- Permitir a estabilidade - Permitir a rigidez - Suportar o peso	Pés do gabinete Fundo inferior Base frontal Caixa interna Painel porta Gabinete isolado Travessa inferior Soldas Parafusos Dobradiça superior Dobradiça inferior Capa externa conjunto
9 - Abertura / fechamento	Permitir acesso	- Permitir abertura - Permitir fechamento - Permitir reversão - Suportar o peso - Evitar que a porta fique aberta	Cabeceira superior Cabeceira inferior Porta isolada Gabinete isolado Gaxeta Buchas batente
10 - Informação	Interagir com o usuário	- Informar o usuário - Orientar o usuário - Identificar	Manual de instrução Etiquetas Emblemas Serigrafias
11 - Embalagem	Garantir a integridade do produto	- Proteger o produto no transporte - Proteger o produto no armazenamento	Base EPS Cantoneiras de EPS Tampo EPS Filme plástico Saco plástico produto Tampo EPS Calhas de EPS Saco plástico console Saco plástico tira EPS
12 - Elétrico	Fornecer energia ao produto	- Interligar os componentes - Permitir a energização dos componentes - Oferecer segurança ao usuário / produto	Termostato Compressor Relê de partida Protetor térmico Lâmpada Interruptor Fiação elétrica /rede elétrica Cabo de alimentação Cabo de aterramento / fio terra Terminais para conexão

Tabela 6.2 - Resultado do desdobramento das funções.

Ao realizar as correlações entre as tabelas de funções e sistemas obtêm-se a matriz funções x sistemas (ver tabela 6.3). A priorização é focada pelo maior peso relativo de cada coluna.



Sistemas	Refrigeração	Estrutural	Armazen.	informação	degelo	Elétrico	Dist. de ar	Isolação	Controle	
Funções	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	de 0 a 5	total
Conservar alim.	5,00	3,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	43,00
Sustentar comp.	3,00	5,00	5,00	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00
Isolar	5,00	5,00	1,00	3,00	5,00	1,00	5,00	5,00	0,00	30,00
Suportar produto	5,00	5,00	5,00	2,00	2,00	0,00	0,00	5,00	0,00	24,00
Circular ar	5,00	3,00	3,00	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00	36,00
Baixar temp.	5,00	1,00	3,00	4,00	3,00	5,00	5,00	5,00	5,00	36,00
Manter temp.	5,00	0,00	4,00	4,00	3,00	5,00	5,00	5,00	5,00	36,00
Estruturar	2,00	5,00	5,00	3,00	1,00	0,00	0,00	5,00	1,00	22,00
Iluminar	2,00	2,00	5,00	3,00	0,00	5,00	0,00	4,00	4,00	25,00
Grau de Importância	37,00	29,00	36,00	30,00	25,00	26,00	25,00	39,00	21,00	268,00
Valor relativo %	13,81	10,82	13,43	11,19	9,33	9,70	9,33	14,55	7,84	

Sistemas prioritários, maior peso relativo

Tabela 6.3 - Matriz função x sistemas.

Como resultado desta matriz, destaca-se o sistema de refrigeração como mais crítico. Os critérios para o preenchimento da matriz seguem o estabelecido no Capítulo 5.

6.3 -ETAPA 3 : MATRIZ DO QFD

Como citado no Capítulo 5, o benefício do QFD resume-se no volume de informações sintetizadas em uma, ou mais matrizes.

Para elaborar a matriz do QFD(ver tabela 6.4), faz-se uso da tabela 6.1 e a partir desta efetua-se os desdobramentos em características de qualidade do projeto.

			Externas								
			Produto						Porta		
OQUE		COMO	Altura	Largura	Profundidade	Peso	Espessura de isolamento	Comprimento cabo aliment.	Peso da porta	Altura	Largura
			Modulação	Externo	Mesma altura do freezer	⊙			Δ		Δ
Proporcional ao freezer	⊙	⊙			⊙	○		Δ	○	⊙	⊙
Ocupa pouco espaço	⊙	⊙			⊙					○	○
Interno	Boa quantidade de prateleiras	○		Δ			Δ				
	Ser espaçoso	○		○	○		⊙			○	○
	Bem aproveitado internamente						○				
	Gavetas para carne grande										
	Caber bastante coisa										
Comp. grande para congelar											
Facilidade de Uso	Fácil degelo	Fácil degelar									
		Não vaza água qdo degelar									
	Fácil uso	Fácil instalar	○	Δ	Δ	○		⊙			
		Fácil movimentar	○	○	○	⊙		⊙			

Tabela 6.4 - Matriz da qualidade - QFD

6.4 - ETAPA 4 : MATRIZ CARACTERÍSTICAS X PROCESSOS

Como visto na fase anterior a elaboração da matriz da qualidade (QFD), é empregada para desdobrar a voz do cliente de qualidade abstrata para concreta, um desses desdobramentos, é a tabela da característica de qualidade . Ao ser realizada a correlação entre qualidade exigida e característica da qualidade, avalia-se quais características atendem ao maior numero de qualidade exigida. Na correlação características x processos, segue o critério conforme descrito no Capítulo 5. Isso é feito pela somatória de todos os pesos da coluna representada por símbolos ou valores numéricos. As características representam as especificações que mais tarde se transformarão em componentes. Sua importância no contexto, está em priorizar as características que, comprometem o atendimento da qualidade exigida(voz do consumidor). Ao elaborar a matriz características x processos, deve-se ter previamente listados os principais processos(ver tabela 6.5).

Caract. \ Proces	Fabricação	Injeção	Termoform.	PU	Montagem	Carga	Dobra	preparação	Total
	de 0 à 5	de 0 a 5	de 0 à 5	de 0 à 5	de 0 à 5	de 0 à 5	de 0 à 5	de 0 à 5	
Altura	3,00	3,00	1,00	0,00	1,00	5,00	5,00	2,00	20,00
Folgas	2,00	4,00	5,00	4,50	0,00	5,00	4,00	5,00	29,50
Tolerância	0,00	1,00	3,00	5,00	5,00	0,00	1,00	0,00	15,00
Largura	4,00	5,00	0,00	2,00	2,00	5,00	5,00	5,00	28,00
Profundidade	5,00	0,00	4,90	5,00	4,00	4,90	3,00	4,90	31,70
Cap. Cong.	5,00	4,70	5,00	0,00	2,00	5,00	4,00	4,70	30,40
Forma geom.	3,00	4,50	2,00	4,50	0,00	3,00	4,00	4,50	25,50
Altura sit. Mov.	2,00	1,00	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,00	29,50
Alinhamento	0,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	0,00	5,00	25,00
Importância	24,00	27,20	29,40	29,50	22,50	36,40	30,50	35,10	234,60
%	10,23	11,59	12,53	12,57	9,59	15,52	13,00	14,96	

Tabela 6.5 - Matriz características x processos.

6.5 -ETAPA 5 : MATRIZ PROCESSOS X FALHAS

É difícil obter informações sobre campos inexplorados e desconhecidos (novas falhas, originadas de novas funções e novos processos). A reunião dos dados acerca de uma determinada falha torna-se importante quando as ações são encetadas para tentar eliminá-la.

Quanto às falhas de campo, deve-se identificar as principais, e assim evitar que essas sejam introduzidas no novo projeto.

A tabela 6.6 apresenta o resultado da correlação entre processos e falhas. O critério para a correlação segue conforme o descrito no Capítulo 5. O benefício desta matriz, consiste em um melhor entendimento do processo, por parte do grupo de projeto quanto a possibilidade do processo originar as falhas mais críticas.

Quando tem-se muitas falhas a serem analisadas, é fundamental priorizar ou estabelecer critérios, a matriz processo x falhas, atende a esta expectativa.

Proces \ Falhas	N refrigera	Ruído	Não liga	Rendimento	Entupido	Vedação	Desalinhado	Bloqueio	Total
	de 0 à 5	de 0 à 5	de 0 à 5	de 0 à 5	de 0 à 5	de 0 à 5	de 0 à 5	de 0 à 5	
Fabricação	5,00	3,00	0,00	0,00	1,00	5,00	5,00	2,00	21,00
Injeção	5,00	4,00	0,00	4,50	0,00	5,00	4,00	0,00	22,50
Termoform.	4,00	1,00	3,00	5,00	5,00	0,00	1,00	0,00	19,00
PU	5,00	5,00	0,00	2,00	2,00	1,00	5,00	5,00	25,00
Montagem	5,00	5,00	5,00	3,00	2,00	1,00	3,00	5,00	29,00
Carga	5,00	1,00	4,00	0,00	2,00	2,00	1,00	4,00	19,00
Dobra	0,00	4,00	2,00	0,00	0,00	4,00	3,00	4,50	17,50
Preparação	0,00	5,00	3,00	0,00	4,00	4,00	5,00	4,00	25,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Importância	29,00	28,00	17,00	14,50	16,00	22,00	27,00	24,50	178,00
%	16,29	15,73	9,55	8,15	8,99	12,36	15,17	13,76	



Tabela 6.6 - Matriz processos x falhas.

6.6 - ETAPA 6 : MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO

Para elaborar a matriz de prioridade, necessita-se analisar os sistemas sob determinados aspectos, além dos realizados na etapa 2:

- Processo;
- Função;
- Nível de interação entre componentes novos;
- Características da qualidade QFD;
- Defeito de campo.

A tabela 6.7 apresenta através das correlações os pesos atribuídos aos sistemas.

SISTEMAS	CRITÉRIOS / PESO					
	Processo	Função	Nível de interação entre componentes novos	Característica (QFD)	Defeito de campo	Pontuação do Sistema
	30%	30%	10%	10%	20%	100%
REFRIGERAÇÃO	2	5	3	2	5	3,60
ESTRUTURAL	4	5	3	3	5	4,30
ARMAZENAMENTO	5	4	3	2	1	3,40
INFORMAÇÃO	3	4	3	3	3	3,30
DEGELO	1	4	3	4	5	3,20
ELÉTRICO	1	4	3	3	5	3,10
DISTRIBUIÇÃO DE AR	1	5	4	3	5	3,50
ISOLAÇÃO	1	5	4	3	2	2,90
CONTROLE	2	5	4	3	3	3,40

Tabela 6.7 - Determinação do peso dos sistemas.

O processo de tomada de decisão, é uma difícil tarefa dentro da organização, muitas vezes são criados mecanismos para resolver determinados problemas. Se fatos e dados não prevalecerem para a tomada de decisão, torna-se difícil assegurar que a decisão a ser tomada é a correta. A tabela 6.8

apresenta o resultado dos pesos das falhas através das correlações .

SISTEMA	Peso	FALHAS	CRITÉRIOS FALHAS / PESO				
			Nível Tecnológico Testes	Histórico de Campo	Deteção Interna	FTA	Total
			25%	30%	20%	25%	100%
REFRIGERAÇÃO	3,60	Não Refrigera	3	5	3	5	4,10
		Bloqueio	3	3	1	1	2,10
ESTRUTURAL	4,30	Quebrado	3	3	3	3	3,00
		Trincado	3	1	1	1	1,50
ARMAZENAMENTO	3,40	Garrafa caindo	3	3	5	5	3,90
		Derramando	1	3	1	3	2,10
INFORMAÇÃO	3,30	Não legível	5	3	5	5	4,40
		Insuficiente	3	5	3	3	3,60
DEGELO	3,20	Longo	5	3	5	5	4,40
		Curto	3	5	3	3	3,60
ELETRICO	3,10	Terminais soltos	5	1	3	3	2,90
		Mau conectado	5	5	1	5	4,20
DISTRIBUIÇÃO DE AR	3,50	Boqueio	3	1	2	1	1,70
		Obstruído	3	1	1	2	1,75
ISOLAÇÃO	2,90	Não veda	1	1	1	3	1,50
		Faltante	1	3	2	3	2,30
CONTROLE	3,40	Não sinaliza	1	1	1	3	1,50
		Sinalisa errado	1	1	1	3	1,50

Tabela 6.8 - Determinação do peso das falhas.

As tabelas 6.7 e 6.8 apresentam os resultados dos pesos para os sistemas e falhas. Onde são plotados em uma matriz(ver tabela 6.9), de forma clara e legível. Onde cada campo tem sua prioridade conforme descrito no Capítulo 5.

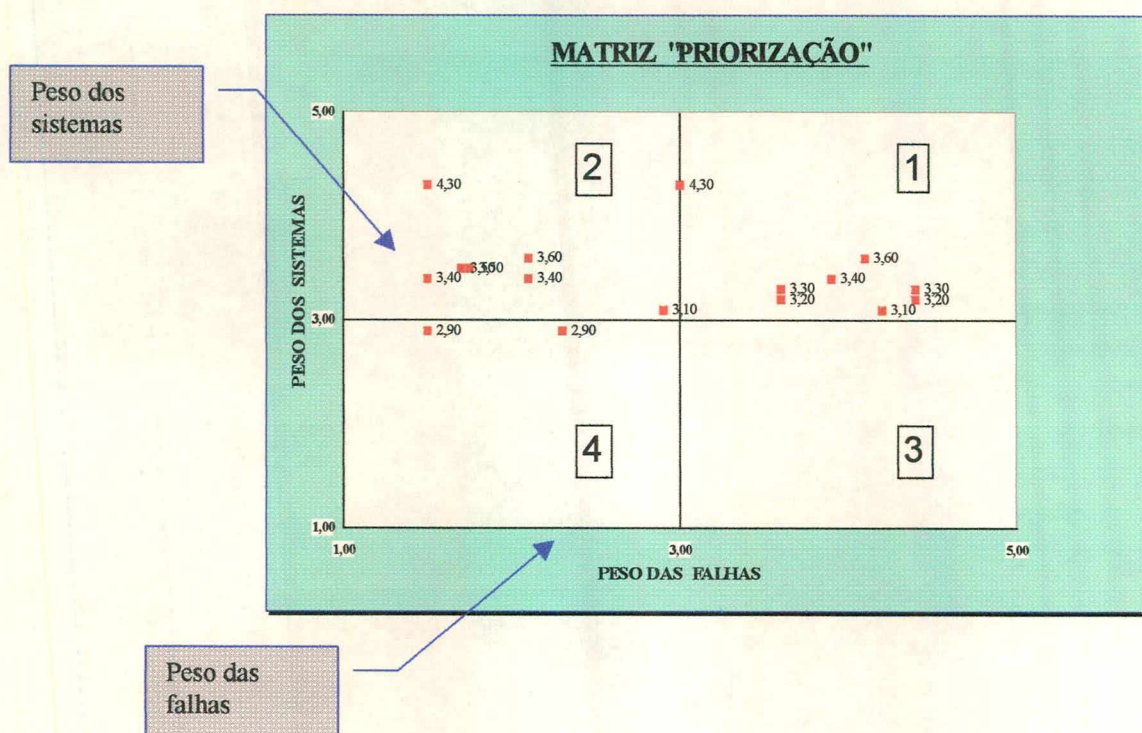


Tabela 6.9 - Matriz de priorização.

6.7 - ETAPA 7 : ÁRVORE DE FALHAS

Para elaborar a árvore de falhas, escolhe-se a falha do sistema que caiu no campo 1 da matriz de priorização (ver figura 6.9). Uma vez elaborada a árvore de falhas, observa-se que quanto mais ramificada for a mesma, maior será sua complexidade. A figura 6.4 mostra a árvore de falhas elaborada a partir da matriz de priorização.

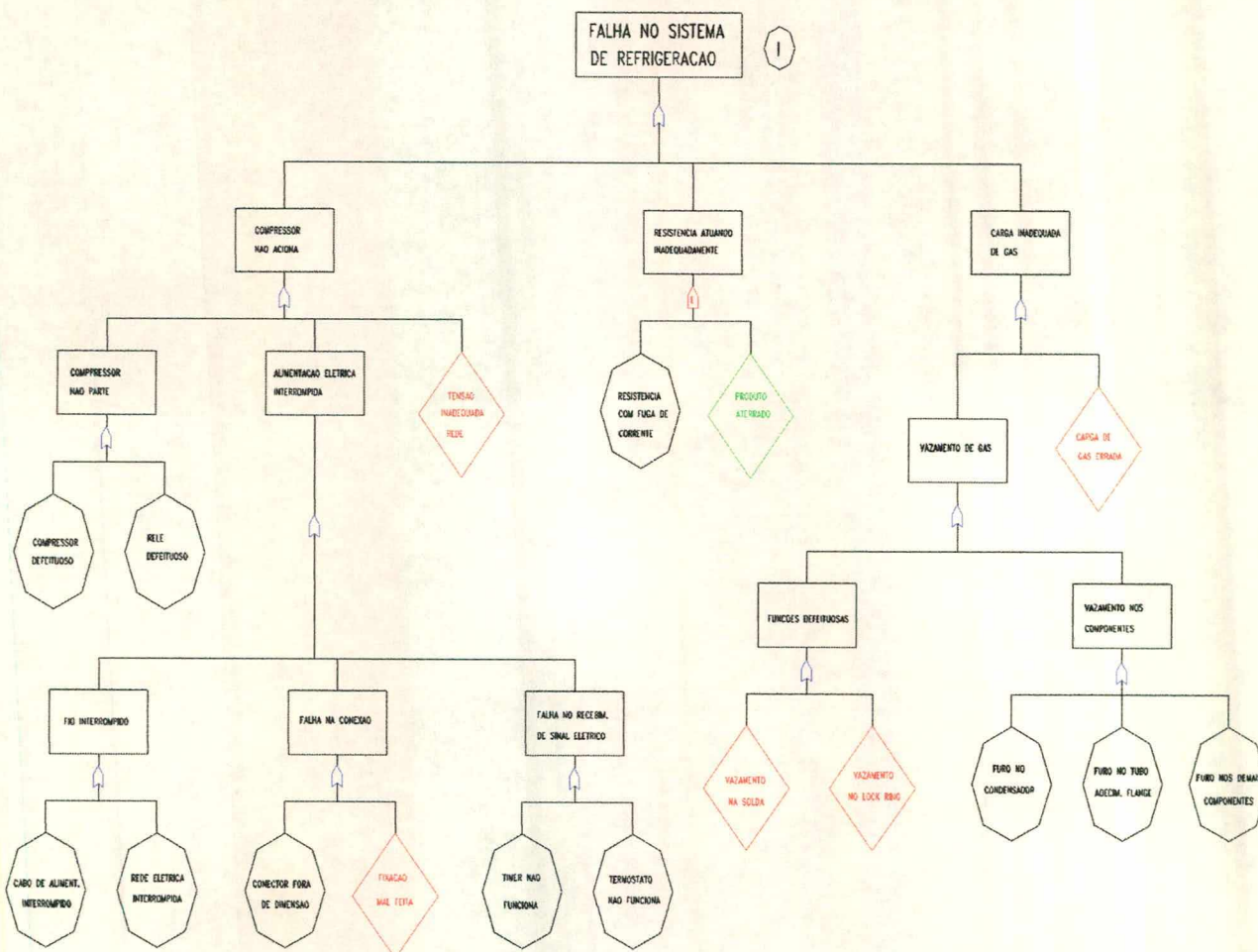


Fig. 6.4 - Árvore de falha funcional (refrigeração).

6.8 - ETAPA 8 : CÁLCULO DO MTBF

Na etapa anterior, obteve-se através da árvore de falhas, os modos de falhas e seus eventos básicos. Para o cálculo do MTBF, deve-se verificar através de testes a ocorrência ou não da falha.

Após o planejamento e realização dos testes, é recomendável analisar os resultados com a finalidade de identificar erros grosseiros na coleta de dados ou até mesmo valores que embora verdadeiros, se distanciam dos demais.

Para exemplificar, parte-se de duas hipóteses :

1. define-se uma taxa de falha constante, o que sugere o uso das equações da distribuição exponencial;
2. assume que os dados aderem a distribuição de *weibull*.

Deve-se esclarecer que as hipóteses anteriores são a título de exemplo, pois não tem nenhum fundamento estatístico para validar. É correto iniciar pela análise dos dados e verificar o tipo de distribuição a que mais aderem os dados, antes de dar prosseguimento no estudo.

Exemplo:

Para demonstração do cálculo do MTBF, foi aplicado no sistema de refrigeração, extraído das prioridades anteriores, o modo de falha, e é resultado da análise da árvore de falha . Foi preparada e testada uma amostra de 100 espécimes idênticas porém de uma seleção não contínua, colhidas aleatoriamente da linha de montagem. Estas foram submetidas a um período de 61.320 horas de teste. Os resultados são apresentados na (tabela 6.10).

Falha em horas									
seq	Tempo	seq	Tempo	seq	Tempo	seq	Tempo	seq	Tempo
1	770	11	9236	21	34637	31	53623	41	60550
2	1539	12	10134	22	37203	32	54649	42	61063
3	2053	13	11802	23	40025	33	54906	43	61320
4	2694	14	13085	24	43617	34	55162		
5	3977	15	13855	25	46696	35	55675		
6	4618	16	15138	26	48748	36	56702		
7	4875	17	19243	27	50031	37	57985		
8	6414	18	25144	28	50801	38	58498		
9	7184	19	26940	29	52340	39	59524		
10	8210	20	30275	30	53110	40	59781		

Tabela 6.10- Resultados dos testes e respectivas falhas.

Para dar prosseguimento, deve-se definir um plano de ensaio , onde pode-se obter através dos testes um valor aproximado do MTBF, este é ainda dependente da determinação de alguns parâmetros, como:

N	número de unidades de ensaio;
n	número de falhas;
r	número de falhas dado;
O ou E	ensaio sem reposição de unidades defeituosas ou com Reposição;
R ou T_a	o ensaio é concluído na r -ésima falha após o tempo dado T_a .

Cada determinação numérica de um valor estimativo, deve ser acompanhada de um intervalo de confiança, correspondente ao valor do parâmetro (Müller, Schwartz, 1987).

O cálculo dos limites de confiança depende tanto do plano de ensaios quanto dos valores estimativos. Nas afirmativas de confiabilidade, indicam muitas vezes somente intervalos de confiança limitados unilateralmente: para taxas de falhas λ , o limite de confiança superior é relevante, porém, para a duração da vida útil média **MTTF** e o intervalo de falhas médio **MTDF**, é relevante o limite inferior (Müller, Schwartz, 1987).

Na estatística técnica, normalmente é usada a probabilidade afirmativa $P_A = 0,95$, em afirmativas de Confiabilidade é usual trabalhar com $P_A = 0,6$ ou $P_A = 0,9$.

Dependendo do plano de ensaio e do valor estimativo $\hat{\lambda}$, obtém-se através dos valores tabelados k_1, k_2, k_3 .

Para a primeira hipótese foi assumido que a taxa de falhas é constante sem considerar o tipo de distribuição que é representada pelos dados .Deve-se primeiramente preparar os dados para análise e utilizar as tabelas.

Dados obtidos através do plano de testes: $[N, O, t_A]$

para: $N=100$, $n=43$, $t_A=61320$ h, $\sum_{i=1}^{43} t_i = 1423830$ $P_A=0,9$,

na tabela do anexo 1, tem-se para:

- $P_A=0,9$ e $n=43$ o valor de $k_1=0,762$, $k_2=1,29$

- Para o cálculo da taxa de falha, aplica-se a expressão;

$$\hat{\lambda} = \frac{n}{\sum_{i=1}^{43} t_i + (N-n)t_A} = 0,00000874h^{-1} \quad (6.1.1)$$

- Para o cálculo do MTBF, aplica-se a expressão;

$$MTBF = \frac{1}{\hat{\lambda}} = 114396,9767h \quad (6.1.2)$$

- Para o intervalo de confiança, tem-se;

$$\frac{MTBF}{k_2} \leq MTBF \leq \frac{MTBF}{k_1} \quad (6.1.3)$$

O intervalo de confiança do **MTBF** resulta em

$$88679 \leq MTBF \leq 150127,26 \text{ h}$$

- Para uma afirmação probabilística, tem-se;

Que a probabilidade de que o verdadeiro MTBF esteja compreendido entre 88.679 e 150.127,26 horas é de 90%.

- Deseja-se saber qual o percentual de falhas esperado, caso se deseje estipular um período de garantia de 1 ano.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (6.1.4)$$

Para um período de 1 ano em horas tem-se:

- $24 \cdot 365 = 8760$ h;
- substituindo em (6.1.4) tem-se;

$$F(8760) = 1 - e^{-0,00000874 \cdot 8760} = 0,08 \quad \text{ou } 8\%.$$

Para um período de 8.760 horas espera-se que 92 % da amostra sobreviva. Esse um é valor alto, para padrões de classe mundial, levando-se em consideração que essa estimativa acarreta em 8% de falhas para um período de 1 ano.

Na segunda hipótese aplica-se as relações da Distribuição de *Weibull* para o cálculo do MTBF. Desta maneira tem-se:

- A tabela 6.11 é uma transformada da (tabela 6.10), onde os dados estão separados por classe e respectivas frequências.

	Tempo das falhas	Frequência observada	Frequência relativa	Frequência acumulada
	0=>4000	5	0,12	0,12
1	4000=>8000	4	0,09	0,21
2	8000=>12000	5	0,12	0,33
3	12000=>16000	3	0,07	0,40
4	16000=>20000	1	0,02	0,42
5	20000=>24000	0	0,00	0,42
6	24000=>28000	2	0,05	0,47
7	28000=>32000	1	0,02	0,49
8	32000=>36000	1	0,02	0,51
9	36000=>40000	1	0,02	0,53
10	40000=>44000	2	0,05	0,58
11	44000=>48000	1	0,02	0,60
12	48000=>52000	2	0,05	0,65
13	52000=>56000	7	0,16	0,81
14	56000=>60000	5	0,12	0,93
15	60000=>64000	3	0,07	1,00
	Total	43	1,00	

Tabela 6.11- Dados agrupados em classes.

- Para o cálculo da probabilidade de falha aplica-se a equação a seguir:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta} \quad (6.2.1)$$

Entretanto, a equação 6.2.1 é logarítmica, uma forma prática de cálculo é aplicar a regressão. Para sua efetiva aplicação deve-se determinar alguns fatores da regressão linear, como β e η . Para determina-los aplica-se logaritmo em ambos os lados da equação 6.2.1, assim obtem-se a equação 6.2.2.

$$\begin{aligned} \text{Ln}\{-\text{Ln}[1-F(t)]\} &= \beta \cdot \text{Ln}(t-t_0) - \beta \cdot \text{Ln}\eta \\ Y &= a \cdot X + b \end{aligned} \quad (6.2.2)$$

Através da equação 6.2.2, elabora-se a tabela com os dados transformados (ver tabela 6.12).

			to= 3000	
	t	F(t)	y=Ln{-Ln[1-F(t)]}	x=Ln(t-to)
1	4000	0,12	-2,090591828	6,90775528
2	8000	0,21	-1,448852589	8,51719319
3	12000	0,33	-0,931647329	9,10497986
4	16000	0,40	-0,68695921	9,47270464
5	20000	0,42	-0,611891134	9,74096862
6	24000	0,46	-0,484206187	9,95227772
7	28000	0,47	-0,468874827	10,1266311
8	32000	0,49	-0,400242277	10,2750511
9	36000	0,51	-0,333129082	10,4042628
10	40000	0,53	-0,267268074	10,5186732
11	44000	0,58	-0,138310385	10,6213273
12	48000	0,60	-0,074737801	10,7144178
13	52000	0,65	0,051785592	10,7995756
14	56000	0,81	0,519840016	10,8780472
15	60000	0,93	0,979298517	10,9508065
		1,00		

Tabela 6.12- Dados Linearizados.

Para o cálculo dos coeficientes angular e linear elabora-se a tabela 6.13.

	Yi	Xi	Yi2	Xi2	Xi*Yi
1	-2,090591828	6,90775528	4,370574191	47,717083	-14,4412967
2	-1,448852589	8,51719319	2,099173825	72,5425799	-12,3401574
3	-0,931647329	9,10497986	0,867966745	82,9006582	-8,48263016
4	-0,68695921	9,47270464	0,471912957	89,7321331	-6,5073617
5	-0,611891134	9,74096862	0,37441076	94,8864697	-5,96041234
6	-0,484206187	9,95227772	0,234455631	99,0478318	-4,81895444
7	-0,468874827	10,1266311	0,219843603	102,548658	-4,74812241
8	-0,400242277	10,2750511	0,160193881	105,576675	-4,11250986
9	-0,333129082	10,4042628	0,110974985	108,248685	-3,46596253
10	-0,267268074	10,5186732	0,071432223	110,642486	-2,81130552
11	-0,138310385	10,6213273	0,019129763	112,812595	-1,46903987
12	-0,074737801	10,7144178	0,005585739	114,798748	-0,80077202
13	0,051785592	10,7995756	0,002681748	116,630833	0,55926242
14	0,519840016	10,8780472	0,270233642	118,331911	5,65484423
15	0,979298517	10,9508065	0,959025586	119,920164	10,7241086
Soma	-6,385786597	148,984672	10,23759528	1496,33751	-53,0203097

Tabela 6.13- Valores para cálculo dos coeficientes.

- **Determinação do coeficiente angular (β)**

Para determinar o coeficiente angular, utiliza-se os resultados (da tabela 6.13), substituindo na equação 6.2.3.

$$a = \beta = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n X^2 - \left[\sum_{i=1}^n X_i \right]^2} \quad (6.2.3)$$

Aplicando os valores da tabela 6.13 na equação (6.2.3), obtém-se:

$$a = \beta = \frac{15 \cdot (-53,02) - [148,98 \cdot (-6,38)]}{15 \cdot (1496,33) - [148,98]^2} = 0,62$$

- Determinação do coeficiente linear ($-\beta.Ln.\eta$)

$$b = -\beta.Ln.\eta = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} - a \cdot \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (6.2.4)$$

Aplicando os valores da tabela 6.14 na equação (6.2.4), obtem-se:

$$b = -\beta.Ln.\eta = \frac{(-6,38)}{15} - 0,62 \cdot \frac{148,98}{15} = 6,58$$

- Determinação de η

Da equação 6.2.4 obtem-se $b = -\beta.Ln.\eta = 6,58$, logo :

$$\begin{aligned} b &= -\beta.Ln.\eta = 6,58 \\ Ln\eta &= \frac{6,58}{0,62} \\ \eta &= e^{10,56} = 40842,7h \end{aligned}$$

- Determinação do coeficiente de correlação (r) linear

$$r = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{\left[n \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \cdot \left[n \cdot \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \right]}}$$

(6.2.5)

Aplica-se os valores da tabela 6.13 na equação (6.2.5), obtem-se:

- $r=0,92$

O coeficiente de correlação linear de Pearson tem importantes propriedades, como a de ser adimensional e de variar entre -1 e +1. O sinal positivo indica que há uma correlação linear positiva.

- Para a amostra testada deseja-se saber a probabilidade do Sistema falhar em 1 ano.

Tempo em horas 1 ano=365 dias=8.760 horas.

Aplicando os valores calculados anteriormente na equação (6.2.1), obtem-se:

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{(t-t_0)^\beta}{\eta}\right]} = 1 - e^{-\left[\frac{(8760-3000)^{0,62}}{40842,7}\right]} = 25,62$$

O resultado obtido é muito elevado o que pode corresponder ao esperado, desta maneira, deve-se executar um plano de ação para diminuir a falha, ou melhorar a confiabilidade.

- Cálculo do MTTF do sistema.

$$MTTF = t_0 + \eta \Gamma(1 + \beta^{-1}) \quad (6.2.6)$$

$$MTTF = 3000 + 40842,7 \Gamma(1 + 0,62^{-1}) = 61960,52h;$$

O exemplo proposto teve como idéia central ilustrar a aplicação do cálculo do MTBF e MTTF.

Na primeira hipótese, realizou-se o cálculo do MTBF através da equação originada da distribuição exponencial (taxa de falha constante). Esse cálculo pode conter erros significativos, quando a amostra não é representada pela distribuição exponencial, assim não reflete o verdadeiro valor do MTBF.

Ao realizar um teste de aderência dos dados através do software Minitab (ver figura 6.5), observou-se que os dados não aderem a distribuição exponencial. O teste revela que os dados da amostra se aproximam das distribuição de *weibull* e logonormal. A aplicação da distribuição de Weibull, tem como característica o parâmetro β , conforme esse varia pode aderir às principais distribuições. Uma vez escolhida a distribuição de weibull, pode-se incorrer no erro, que somente uma parte dos dados, aderem à distribuição. Entretanto, aplicá-la sem análise e o devido conhecimento, pode levar a interpretações que não refletem a realidade dos dados. Como consequência a tomada de ações pode não alcançar o objetivo desejado.

Aderência dos dados a distribuição.

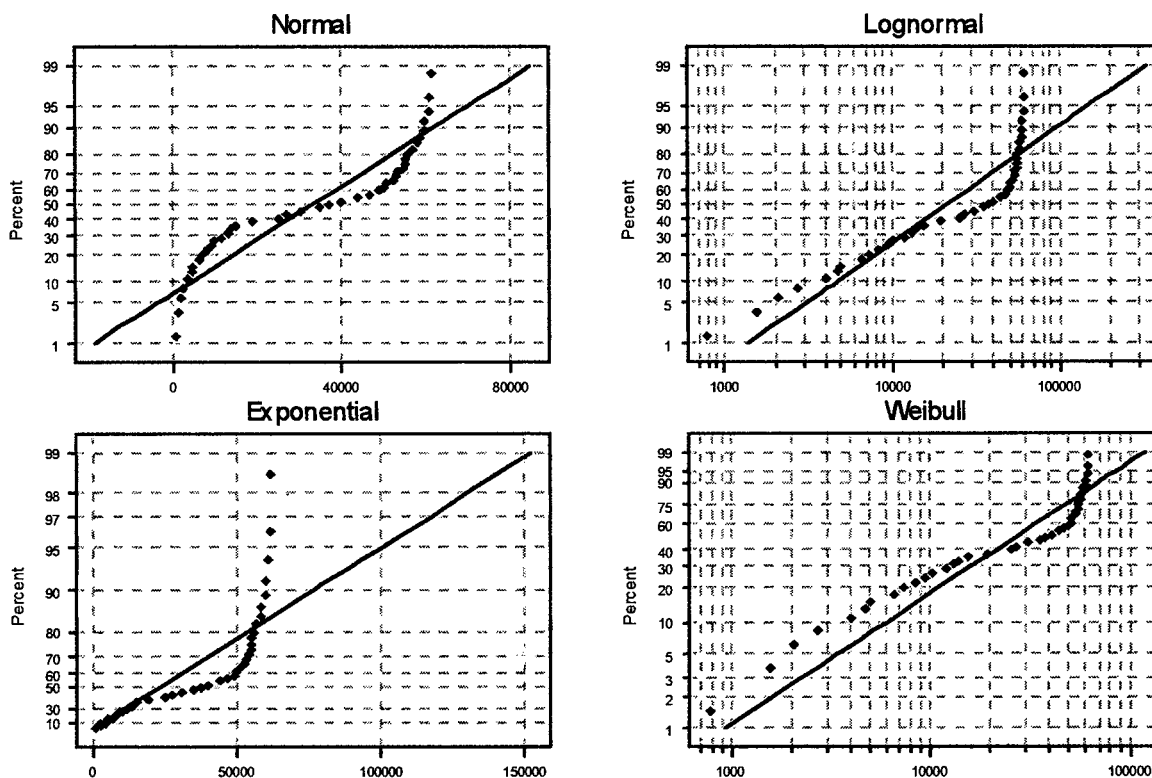


Fig.6.5- Teste de aderência da amostra.

Deseja-se ampliar o prazo de garantia de 1 para dois anos de uso , qual o risco embutido ?

Segundo Fontenelle (1996), conseguir altos níveis de confiabilidade pode ser dispendioso principalmente quando o produto é muito complexo. No modelo proposto, através de priorização executada em cada fase do projeto, procurou-se facilitar a tomada de decisão com dados consistentes e fundamentados na voz do consumidor.

Melhorias introduzidas no produto induzem a novos custos, porque geralmente requerem novos investimentos. Sejam elas melhorias nas especificações e definições do produto ou na redundância dentro do projeto. Dois produtos similares , desenvolvidos com orçamento similares podem ter confiabilidade diferentes devido as diferenças de controle de projeto, qualidade e produção. O ganho da confiabilidade está em grande parte na alocação de recursos e também da análise dos riscos envolvidos em relação as falhas.

Os custos da não-confiabilidade (ver tabela 6.14), são fáceis de se estimar pois são custos das falhas ocorridas que normalmente são reportadas.

Custos da confiabilidade	Custos da não-confiabilidade
- Preparação do teste	- Falhas em garantia
- Sistema de aquisição de dados e falhas	- Perda de reputação do produto
- Acompanhamento dos testes	- Rede de atendimento e assistência técnica
- Peças de substituição	- Treinamento em assistência técnica
- consumo de energia no teste	- Estoque de peça em reposição
- Operadores	- Literatura e publicidade
- Banco de dados de falhas	
- Treinamento	
- Melhoria do produto	

Tabela 6.14- Custos da confiabilidade e não-confiabilidade.

[O'Connor, 1991]

Os custos da não confiabilidade(ver figura 6.6), podem ser divididos em:

- custo de Garantia;
- custo de peças de reposição;
- organização da assistência técnica;
- custos pós-período de garantia;
- custo de reputação.

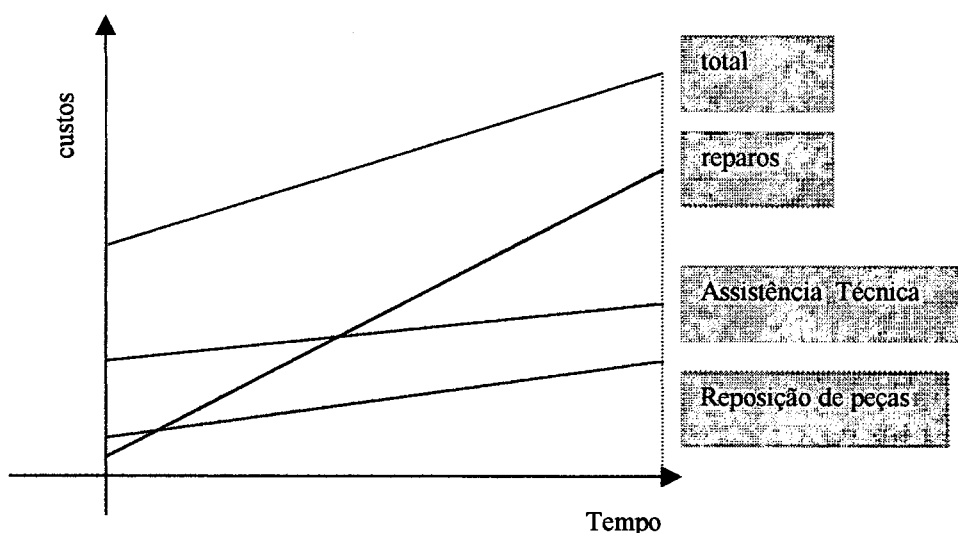


Fig. 6.6 - Custos da não-confiabilidade. [O'Connor, 1991]

Estes custos terão um grande impacto quando se propõe melhorar a confiabilidade através do MTBF, não se pode fugir à execução de testes.

Para aumentar a confiabilidade ,aplica-se o modelo de Duane, descrito no Capítulo 4.

Para exemplificar tem-se :

- Os sistemas foram desenvolvidos com 2880 horas, para uso em produtos de refrigeração para um lote inicial de 150000 unidades . A taxa de falha é igual a 0.07 falhas a cada 8.760 h . assume-se que o crescimento da confiabilidade segue o modelo de Duane com fator 0,3, (Capítulo 4) . Quais os custos de garantia e

desenvolvimento ao se ampliar a garantia de 1 para 2 anos?

Tem-se:

- Custo de teste/h= R\$ 110,00;
- Custo de reparo = R\$ 50,00;
- Custo e troca = R\$800;
- Taxa de falha =0,07;
- Tempo de uso inicial =8760 h;
- Produção =150000 produtos;
- Tempo de desenvolvimento peça atual =2880;
- Fator de crescimento do MTBF =0,3.

- **Sistema atual**

MTBF=8760/0,07 =125142 h

- **Custo de garantia para 2 anos**

Taxa de falha = 0,07

Número de falhas =0,07x150000x2=21.000 falhas no período

Custo de reposição=21.000x800=R\$18.900.129 no período

- **Para o MTBF proposto**

MTBF=17520/0.07 =250285 h

Para 1 ano tem-se: 8760/250258=0,03 falhas por ano

Para 2 anos tem-se: 0,03x150000x2=9.000 falhas no período

Custo de reposição=9.000x800=R\$7.200.000 no período

$\Delta=18.900.000-7.200.000=R\$11.700.129$ (economia com garantia se o MTBF aumentasse)

Tempo necessário de testes, para aumentar o MTBF.

$$\theta_i = \frac{\theta_c}{(1-\alpha)}$$

(6.3.3)

onde: θ_i = MTBF instantânea;

α = fator de crescimento;

θ_c = MTBF acumulativa.

Para o objetivo de 17520 h e fator =0,3 através da equação (6.3.3) obtem-se:

$$\theta_c = \theta_i \cdot (1 - \alpha) = 1752(1 - 0,3) = 12264$$

$$\theta_c = \theta_0 \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^\alpha$$

(6.3.2)

$$T = T_0 \left(\frac{\theta_c}{\theta_0} \right)^{\frac{1}{\alpha}} = 8830$$

Custo do teste=8830x 110= R\$ 971.300

A tabela 6.15 apresenta o resumo do cálculo do MTBF atual, os dados não são reais, foram arbitrados para exemplificar a aplicação.

Lote de unidades produzidas	150.000	150.000
garantia	1 ano	2 anos
Custo das falhas	9.450.000	18.900.000
faturamento	180.000.000	180.000.000
Ganho	170.550.000	161.000.000
Margem de contribuição %	95	89,5

Tabela 6.15 - MTBF atual sem investimentos em testes.

Neste exemplo, não se tem aberto os custos, como quantidades de produtos testados, com reposição ou não de produtos entre outros. Mas não deixa de ser válido a sua aplicação.

Na tabela 6.16, tem-se o resumo dos cálculos com investimentos em testes para melhorar a confiabilidade.

Lote de unidades produzidas	150.000	150.000
garantia	1 ano	2 anos
Custo das falhas R\$	3.600.000	7.200.000
Faturamento R\$	180.000.000	180.000.000
Custo dos testes R\$	971.300	971.300
Ganho R\$	175.428.700	171.828.700
Margem de contribuição %	97	95

Tabela 6.16- MTBF proposto com investimentos em testes.

Com os resultados apresentados nas tabelas (6.15 e 6.16), tem-se uma idéia da importância em melhorar a confiabilidade. Na tabela 6.16, a margem de contribuição é considerável, considerando o volume de produção. Entretanto, o tempo para execução dos testes é de longa duração, o que leva a uma tomada de decisão difícil. Ao se analisar as falhas isoladamente, sem se levar em consideração o contexto em que a organização se encontra, prevalece como fator principal o investimento em testes, o que melhora a confiabilidade. Entretanto, o tempo de realização dos testes é de longa duração, o que pode ser muito oneroso em termos de fluxo de caixa para a organização. Tornando-se uma decisão não favorável a curto prazo.

O modelo de Duane tem sido empregado neste sentido, para a melhoria da confiabilidade através de testes. Onde pode-se mensurar o crescimento da confiabilidade através do MTBF e assim monitorar e estimar as falhas. Neste sentido é uma ferramenta que gera informações, para dar apoio no processo decisório e principalmente quando tem-se a intenção de aumentar o prazo de garantia.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 - Conclusões

O objetivo deste trabalho foi propor um modelo para dar subsídios a tomada de decisões dentro de uma organização. Entretanto, há fatores em algumas organizações que fundamentam o processo de decisão, através de inovações, outras procuram distinguir-se pela excelência operacional, outras pela proximidade com seus consumidores.

No trabalho procurou-se evidenciar a importância de se evitar falhas, principalmente dentro do período de garantia do produto. Com isto, possibilitar uma melhoria para a organização, através do aumento da confiabilidade do produto. Também foram enfatizadas as prioridades em cada etapa do desenvolvimento do produto, como resultado das correlações de tabelas desdobradas a partir da voz do consumidor, validada através de consenso do grupo de projeto. Dessa maneira o grupo de projeto compartilha as mesmas ações e responsabilidades, na tomada de decisão.

Procurou-se destacar a importância de uma definição correta dos dados de entrada do projeto, o mais próximo da voz do consumidor, para dar prosseguimento às etapas seguintes e assim alcançar os objetivos.

Vale lembrar que a maneira como vem sendo tratadas as falhas, não dão subsídios suficientes para uma tomada de decisões, no que tange a ampliar o prazo de garantia.

A utilização do modelo permite que se enfatize os pontos fortes dos desdobramentos em forma gráfica e assim manter o histórico do desenvolvimento do produto. Uma limitação do modelo, reside em não garantir um desdobramento correto das etapas, se a escolha dos dados de entrada não representarem a voz do consumidor.

É prudente salientar que o desdobramento técnico é um dos elementos que compõe o modelo, ao qual foi dada maior importância no caminho central das etapas. Outro elemento que embora tenha um peso maior, os custos, não foi abordado com a importância devida. Para o processo decisório, os custos prevalecem como uma das prioridades nas ações a serem tomadas.

Para o consumidor, o importante é o preço final, e quem pagará a(s) ineficiência(s) (custos), durante o processo de desenvolvimento e manufatura do produto será o mesmo. A organização sente o efeito de suas ineficiências, quando o produto começa a falhar no período inicial de operação (garantia) .

7.2- Recomendações para trabalhos futuro.

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- uma abordagem de custos em todas as etapas do modelo, tendo em vista a estruturação dos dados de projeto. De modo a mensurar e estabelecer critérios mais apurados para tomada de decisões;
- outra pesquisa interessante, seria avaliar o impacto da falha fora do período de garantia envolvendo outros aspectos como imagem da organização e marca , com isto propor uma política neste sentido, para ser adotado pelo fabricante.

ANEXO 1. Valores k_1, k_2, k_3 , para cálculo de limites para o valor do parâmetro λ (MTBF, MTTF). Plano de ensaio $[N, E, t_a]$ e $[N, O, t_a]$

Probabilidade afirmativa $P_a=0,90$			
n	k1	k2	k3
1	0,051	4,744	3,89
2	0,178	3,148	3,89
3	0,273	2,585	2,661
4	0,342	2,288	2,227
5	0,394	2,103	1,998
6	0,436	1,974	1,855
7	0,469	1,878	1,755
8	0,498	1,804	1,982
9	0,522	1,745	1,624
10	0,543	1,696	1,578
11	0,561	1,655	1,541
12	0,577	1,62	1,509
13	0,592	1,59	1,482
14	0,605	1,563	1,458
15	0,616	1,54	1,438
16	0,627	1,519	1,403
17	0,637	1,5	1,389
18	0,646	1,483	1,375
19	0,655	1,467	1,363
20	0,663	1,453	1,352
22	0,677	1,428	1,333
24	0,69	1,406	1,316
26	0,701	1,388	1,301
28	0,711	1,371	1,289
30	0,72	1,356	1,277
35	0,739	1,326	1,253
40	0,755	1,302	1,235
45	0,768	1,282	1,22
50	0,779	1,266	1,207
55	0,789	1,252	1,196
60	0,798	1,24	1,187
70	0,812	1,22	1,171
80	0,823	1,204	1,159
90	0,833	1,192	1,149
100	0,841	1,181	1,141
120	0,855	1,164	1,27
140	0,865	1,151	1,117
160	0,874	1,4	1,109
180	0,881	1,132	1,102
200	0,887	1,124	1,097
250	0,898	1,11	1,086
300	0,907	1,1	1,078
350	0,914	1,092	1,072
400	0,919	1,086	1,067
450	0,924	1,081	1,063
500	0,928	1,077	1,06

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AKAO, Yoji. **QFD: Integrating customer requirements into product design**. Cambridge: Massachusetts, Productivity Press, 1990.

ANAIS DO 9º CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO. Curitiba/PR: Abraman - Associação Brasileira de Manutenção, 1994.

ANDERY, TAVARES, HELMAN. **FMEA E FTA**. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Fundação Christiano Ottoni, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONTROLE DA QUALIDADE. **Certificação ASQ-Vol-I,II e III**, 1985.

AURÉLIO, A. BUARQUE DE HOLANDA FERREIRA. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**, Nova Fronteira, 1986.

BAXTER, A . L . & TORTORELLA, M. Dealing With Real Field Reliability Data : **Circumventing Incompleteness By Modeling & interaction**. In: Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1984.

BERKE, TOBY M. & ZAINO, Jr., NICHOLAS A. **Warranties: What are they? What do they really cost** In: Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1991.

DEMING, W. Edwards. **Qualidade, a revolução da administração** . Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

DEMKO, Edward. **On Reliability Growth Testing**. In : Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1995.

DIN 40041. **PROBABILIDADE DE SOBREVIVENCIA**, 1980.

ENGWALL, Richard, E. **Robust Design for Dual- Technology**
In: Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium,
1994.

ENGLISH, Jhon, R. & YAN, Li. & LAUNDERS, Thomas, L. **A Modified
Bathtub Curve Whith Latent Failures.** In: Proceeding Annual
Reliability and Maintainability Symposium, 1995.

FONTENELLE, Joaquim da Cunha. Artigo "**Confiabilidade e seus
custos**". Revista CQ - Qualidade, outubro de 1996.

ISHIKAWA, Kaoru. **Controle de qualidade total: à maneira
japonesa.** Rio de Janeiro: Editora Campus, 1993.

JURAN, J. M. **Quality Control Handbook.** New York: McGraw-Hill,
1974.

JURAN, J. M. **Quality Control Handbook.** New York: McGraw-Hill,
1979.

JURAN, J. M. **Quality Control Handbook.** New York: McGraw-Hill,
1990.

JURAN, J. M. **Quality Control Handbook.** New York: McGraw-Hill,
1992.

JURAN, J. M., Gryna, Frank M. **Controle da qualidade.** São Paulo:
Makron Books, 1993.

KURTZ, K. Stewart & SARAWGI, NINA. **A Simple Method for
Predicting the Cumulative Failures of Consumer Products during
the Warranty Period.** In : Proceeding Annual Reliability and
Maintainability Symposium, 1995.

LAUNDON, K. C. e J. P. LAUNDON. **Management Information Systems: A Contemporary Perspective**, MacMillan (ISBN 0138543801), 1991.

MIL-HDBK 217- Reliability prediction for Electronic Systems-

MIZUNO, Shigeru. **Gerência para melhoria da qualidade: as sete novas ferramentas de controle da qualidade**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1993.

MULLER, Rolf & SCHWARTZ, Erich. **Confiabilidade- Tabelas e nomogramas para uso práticos**. São Paulo, 1987.

MULTIBRÁS. **Análise Econômica de Projetos**, 1999.

O'CONNOR, P.D.T. **Practical Reliability Engineering**- John Wiley & Sons- England, 1991

PECHT, Michael, G. **Design for Qualification** In: Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1993.

PRESCOTT, Nicholas, J. **Equipment Life**. In: Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1995.

QS900, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation **Planejamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controle**, 1995.

ROONEY, Jhon P. **Customer Satisfaction** In: Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1994.

ROSS, Phillip J. **Taguchi techniques for quality engineering: loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design**. USA: McGraw-Hill Book Company, 1988.

BIBLIOGRAFIA:

ARIZA, Cláudio F . **Sistema de Administração para Manutenção Industrial**. São Paulo/SP: McGraw-Hill do Brasil Editora, 1978

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão da qualidade e garantia da qualidade - Terminologia**, NBR ISO 8402. Rio de Janeiro, 1993.

BERWICK, Donald M., GODFREY, A. Blanton, ROESSNER, Jane. **Melhorando a qualidade dos serviços médicos, hospitalares e da saúde**. São Paulo: Makron Books, 1995.

BHOTE, Keki R. **World class quality: using design of experiments to make it happen**. New York: NY, AMACOM, 1991.

BRASSARD, Michael. **The memory jogger: qualidade ferramentas para uma melhoria contínua**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 1985.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerência de qualidade total: estratégia para aumentar a competitividade da empresa brasileira**. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Fundação Christiano Ottoni, 1990.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: Controle da qualidade total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Qualidade total: Padronização de empresas**. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CLAUSING, Don. **Total quality development: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering**. New York: ASME Press, 1994.

COBRA, Marcos; Rangel, Alexandre. **Serviços ao cliente: uma estratégia competitiva**. São Paulo: Marcos Cobra, 1992.

COSTA NETO, PEDRO L.O. **Estatística**. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA. 13 rd, 1994.

CROSBY, Philip B. **Qualidade: falando sério**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

CSILLAG, João Mário. **Análise do valor**. São Paulo: Atlas, 1995.

DAVIDOW, William H. **Serviço total ao cliente: a arma decisiva**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

DELLARETTI Filho, Osmário. Curso **"Utilização das 7 Ferramentas da Administração e do Planejamento"**. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Fundação Christiano Ottoni, 1994.

DEMING, W. Edwards. **Qualidade, a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

DOTY, Leonard A. **Statistical process control**. New York: Industrial Press Inc., 1996.

DOUCHY, Jean-Marie. **Em direção ao zero defeito na empresa: da qualidade total (TQC) aos círculos de qualidade**. São Paulo: Atlas, 1992.

EDWARDS, George D. Artigo: **"Some basic concepts of quality control"**. Revista Quality Engineering, pg.697-699, 1998.

EUREKA, William E. **QFD: perspectivas gerenciais do desdobramento da função qualidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1993.

FEIGENBAUM, Armand V. **Controle da qualidade total**. São Paulo, Makron Books, 1994.

FIATES, Gabriela Gonçalves Silveira. Dissertação: **A utilização do QFD como suporte à implementação do TQC em empresas do setor de serviços**. UFSC, fevereiro de 1994.

GASS, Kenneth C. Artigo: **"How to make procedures work"**. Revista Quality Engineering, pg.337-343, 1995.

GRANT Ireson, COOMBS F. Clyde, Jr. , MOSS Y, Richard " **Handbook of Reliability engineering and Management**. New York: McGraw-Hill, 1995.

HARRINGTON, H. J. **O processo do aperfeiçoamento: como as empresas americanas, líderes de mercado, aperfeiçoam controle de qualidade**. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

HARRINGTON, James. **Aperfeiçoando processos empresariais**. São Paulo: Makron Books, 1993.

HAUSER, John R., CLAUSING, Don. Artigo **"The house of quality"**. Revista Harvard Business Review, may-june 1988.

HAVENER, Clifton L. Artigo **"Improving the quality of quality"**. Revista Quality Progress, pg 41, november 1993.

HOERL, Roger W. Artigo: **"Six sigma and the future of the quality profession"**. Revista Quality Progress, pg.35, june 1998.

JURAN, J. M. **Quality Control Handbook**. New York: McGraw-Hill, 1988.

JURAN, J. M., Gryna, Frank M. **Controle da qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1993.

KING, Robert. **Better designs in half the time**. Massachusetts: GOAL QPC, 1987.

KUME, Hitoshi. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. São Paulo: Editora Gente, 1993.

MILLS, Charles A. **A auditoria da qualidade: uma ferramenta para avaliação constante e sistemática da manutenção da qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1994.

MOEN, Ronald D./ Nolan, Thomas W./ Provost, Lloyd P. **Improving quality through planned experimentation**. USA: McGraw-Hill, 1991.

MOLLER, Claus. **O Lado Humano da Qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1992.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to statistical quality control**. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1990.

MIRSHAWKA, Victor. **MANUTENÇÃO PREDITIVA - CAMINHO ZERO DEFEITOS**. São Paulo/SP: McGraw-Hill do Brasil Editora, 1991

MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to statistical quality control**. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1990.

MOURA, Eduardo C. **As sete ferramentas gerenciais da qualidade - implementando a melhoria contínua com maior eficácia**. São Paulo: Makron Books, 1994.

PUGH, Stuart. **Total design: integrated methods for successful product engineering.** Great Britain: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1995.

QUALIDADE. **CONTROLE DA QUALIDADE.** EDITORA BANAS. JUNHO 1995.

SNODGRASS, Thomas J., KASI, Muthiah. **Function Analysis: the stepping stones to good value.** Madison: Universidade de Wisconsin, 1986.

TOWNSEND, Patrick L., GEBHARDT, Joan E. **Qualidade em ação: 93 lições sobre liderança, participação e medição.** São Paulo: Makron Books, 1993.

WHEELER, Donald J., CHAMBERS, David S. **Understanding statistical process control.** Knoxville, Tennessee (USA): SPC Press, Inc, 1992.