

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

**UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA QUALIDADE PARA FÁBRICAS
MONTADORAS COM ÊNFASE NO MÉTODO TAGUCHI E QFD**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina
para obtenção do grau de mestre em Engenharia de Produção

SANDRO RANIERI BARCELOS VIEIRA

Florianópolis, fevereiro de 1996

**UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA QUALIDADE PARA FÁBRICAS
MONTADORAS COM ÊNFASE NO MÉTODO TAGUCHI E QFD**

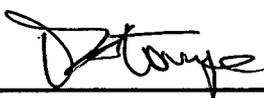
SANDRO RANIERI BARCELOS VIEIRA

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

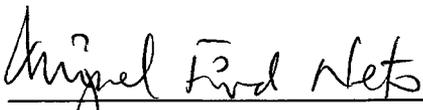


Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.
Coordenador do Curso de Pós Graduação

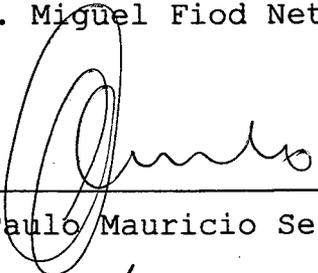
Banca Examinadora:



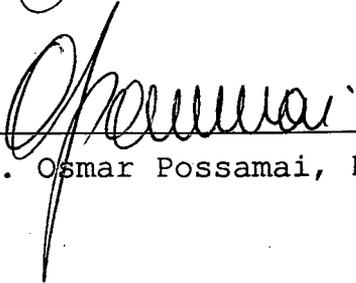
Prof. Plínio Stange, Dr. ING(Orientador)



Prof. Miguel Fiod Neto, Dr.



Prof. Paulo Mauricio Selig, Dr.



Prof. Osmar Possamai, Dr.

*A minha irmã Ivana.
A minha esposa Cleuza.
A meus pais Ibanez e Nelci.*

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina, que permitiu a realização deste trabalho.

Ao Professor Plínio Stange, Dr. ING., pela orientação prestada ao desenvolvimento deste trabalho.

À empresa Agrale S/A e, mais especificamente ao DENP (Departamento de Engenharia do Produto) pelo apoio dado.

Aos amigos Robert Ozorio Moreira e Denise Maggi, pelo apoio prestado para a realização deste trabalho.

Ao amigo Ronaldo Bittencourt, pelo auxílio prestado na confecção do trabalho.

Aos professores, funcionários e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, pelo apoio que deram a realização deste trabalho.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIAiii

AGRADECIMENTOSiv

SUMÁRIO v

LISTA DE FIGURASviii

LISTA DE TABELASix

RESUMOx

ABSTRACTxi

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS01

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA02

1.3 IMPORTÂNCIA DO PROBLEMA04

1.4 OBJETIVOS04

1.4.1 OBJETIVO GERAL04

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS05

1.5 LIMITAÇÕES DO TEMA05

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO06

CAPÍTULO 2 QUALIDADE DESDE O PROJETO EM FÁBRICAS MONTADORAS

2.1 INTRODUÇÃO08

2.2 A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE QUALIDADE08

2.2.1 INSPEÇÃO11

2.2.2 CONTROLE DE PROCESSOS13

2.2.3 DESENVOLVIMENTO DA QUALIDADE14

2.2.4 QUALIDADE DESDE O PROJETO15

2.3 CICLO DE DESENVOLVIMENTO DE UM PRODUTO15

2.3.1 CONCEPÇÃO E VIABILIDADE16

2.3.2 PROJETO DETALHADO16

2.3.3 PROTÓTIPO17

2.3.4 DEMONSTRAÇÃO DA PRÉ PRODUÇÃO17

2.3.5 PRODUÇÃO18

2.3.6 ALTERAÇÕES DE PROJETO18

| | | |
|-------|--|----|
| 2.4 | PROJETAR PARA A QUALIDADE | 19 |
| 2.5 | ASSISTÊNCIA TÉCNICA E GARANTIA | 20 |
| 2.6 | A ORIGEM DO QFD | 21 |
| 2.7 | A FILOSOFIA TAGUCHI | 22 |
| 2.8 | A ENGENHARIA DA QUALIDADE | 25 |
| 2.8.1 | ENGENHARIA DA QUALIDADE NO PROJETO DO PROCESSO | 25 |
| 2.8.2 | ENGENHARIA DA QUALIDADE NA PRODUÇÃO | 26 |
| 2.8.3 | ENGENHARIA DA QUALIDADE NA ASSISTÊNCIA TÉCNICA | 27 |
| 2.9 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 27 |

CAPÍTULO 3 O DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE - QFD

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | INTRODUÇÃO | 28 |
| 3.2 | DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE | 28 |
| 3.2.1 | DEFINIÇÕES | 30 |
| 3.2.2 | ABORDAGENS | 31 |
| 3.2.3 | A ABORDAGEM UTILIZADA NESTE TRABALHO | 37 |
| 3.3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 53 |

CAPÍTULO 4 O MÉTODO TAGUCHI

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | INTRODUÇÃO | 55 |
| 4.2 | VARIABILIDADE | 55 |
| 4.3 | A FUNÇÃO PERDA | 57 |
| 4.3.1 | OBTENÇÃO DA FUNÇÃO PERDA | 58 |
| 4.4 | TIPOS DE TOLERÂNCIAS | 60 |
| 4.4.1 | NOMINAL É MELHOR | 60 |
| 4.4.2 | QUANTO MENOR MELHOR | 61 |
| 4.4.3 | QUANTO MAIOR MELHOR | 62 |
| 4.5 | DESENVOLVENDO UM PRODUTO E/OU PROCESSO ROBUSTO | 62 |
| 4.5.1 | ETAPAS DE PROJETO | 62 |
| 4.5.2 | PROJETO DOS PARÂMETROS | 65 |
| 4.5.3 | RAZÃO SINAL RUÍDO | 68 |
| 4.5.4 | ARRANJOS ORTOGONAIS | 71 |
| 4.5.5 | GRÁFICOS LINEARES | 76 |
| 4.6 | A EXPERIMENTAÇÃO E A ANÁLISE | 79 |
| 4.6.1 | PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO | 80 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 4.6.2 ESTIMATIVA DOS EFEITOS | 85 |
| 4.6.3 ANÁLISE DA VARIÂNCIA | 88 |
| 4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 92 |

CAPÍTULO 5 UM SISTEMA DE QUALIDADE PARA FÁBRICAS MONTADORAS

| | |
|--|-----|
| 5.1 INTRODUÇÃO | 93 |
| 5.2 SISTEMA PROPOSTO | 94 |
| 5.2.1 ETAPA 1 - MATRIZ DE PLANEJAMENTO DO PRODUTO | 97 |
| 5.2.2 ETAPA 2 - MATRIZ DE PROJETO DO PRODUTO | 106 |
| 5.2.3 ETAPA 3 - MÉTODO TAGUCHI NO PROJETO DO PRODUTO | 110 |
| 5.2.4 ETAPA 4 - MATRIZ DE PLANEJAMENTO DO PROCESSO | 116 |
| 5.2.5 ETAPA 5 - MÉTODO TAGUCHI NO PROJETO DO PROCESSO | 120 |
| 5.2.6 ETAPA 6 - MATRIZ DO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO | 130 |
| 5.2.7 ETAPA 7 - MÉTODO TAGUCHI NA PRODUÇÃO | 139 |
| 5.2.8 ETAPA 8 - MATRIZ DO PLANEJAMENTO DA ASSIST. TÉCNICA | 142 |
| 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 145 |

CAPÍTULO 6 O ESTUDO DE CASO

| | |
|--------------------------------|-----|
| 6.1 INTRODUÇÃO | 146 |
| 6.2 A EMPRESA | 146 |
| 6.2.1 O ORGANOGRAMA | 148 |
| 6.3 A APLICAÇÃO PRÁTICA | 149 |
| 6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 160 |

CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

| | |
|--|-----|
| 7.1 CONCLUSÕES | 162 |
| 7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 164 |

| | |
|---|-----|
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 167 |
|---|-----|

| | |
|---------------------------|-----|
| BIBLIOGRAFIA | 172 |
|---------------------------|-----|

| | |
|---|-----|
| ANEXO 1 FERRAMENTAS DA QUALIDADE | 179 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| ANEXO 2 ARRANJOS ORTOGONAIS E GRÁFICOS LINEARES | 185 |
|--|-----|

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 2.1 A Evolução dos Sistemas de Qualidade | 10 |
| Figura 2.2 Carta de Controle dos Processos | 14 |
| Figura 3.1 Matriz das Matrizes | 34 |
| Figura 3.2 Matriz de Planejamento do Produto | 39 |
| Figura 3.3 Matriz de Projeto do Produto | 46 |
| Figura 3.4 Matriz de Planejamento do Processo | 48 |
| Figura 3.5 Matriz de Planejamento da Produção | 50 |
| Figura 3.6 Matriz de Planejamento da Assistência Técnica . | 52 |
| Figura 4.1 Relação Entre Perda e Desvio do Valor Nominal . | 58 |
| Figura 4.2 Função Perda Quanto Menor Melhor | 61 |
| Figura 4.3 Função Perda Quanto Maior Melhor | 62 |
| Figura 4.4 Diagrama dos Parâmetros | 66 |
| Figura 4.5 Arranjo Ortogonal L ₈ | 73 |
| Figura 4.6 Gráficos Lineares do Arranjo Ortogonal L ₈ | 76 |
| Figura 4.7 Gráficos Lineares | 78 |
| Figura 4.8 Planejamento do Projeto dos Parâmetros | 84 |
| Figura 5.1 Sistema Proposto | 96 |
| Figura 5.2 Requisitos dos Consumidores | 101 |
| Figura 5.3 Requisitos Técnicos | 102 |
| Figura 5.4 Matriz de Correlações e Análise da Concorrênc . | 103 |
| Figura 5.5 Matriz de Planejamento do Produto | 106 |
| Figura 5.6 Matriz de Projeto do Produto | 109 |
| Figura 5.7 Matriz de Desdobramento das Partes | 119 |
| Figura 5.8 Matriz de Projeto do Processo | 119 |
| Figura 5.9 Função Perda para as "borboletas" | 122 |
| Figura 5.10 Matriz de Projeto e de Ruído | 124 |
| Figura 5.11 Rodada de Testes da Matriz de Ruído | 125 |
| Figura 5.12 Relações Funcionais | 126 |
| Figura 5.13 Carta e Matriz do Plan. do Controle do Proc. . | 138 |
| Figura 6.1 Diagrama de Afinidades para o Sist. de Freio .. | 154 |
| Figura 6.2 Diagrama de Afinidades para os Requisitos de Assistência Técnica | 156 |
| Figura 6.3 Matriz de Planejamento da Assistência Técnica . | 158 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|---|-----|
| Tabela 4.1 | Resumo da ANAVA | 91 |
| Tabela 5.1 | Fatores e Níveis | 113 |
| Tabela 5.2 | Arranjo Ortogonal L_{16} | 114 |
| Tabela 5.3 | ANAVA do Índice de Lubrificação | 115 |
| Tabela 5.4 | Versão combinada da ANAVA | 115 |
| Tabela 5.5 | Limites de Tolerância e Tolerância de Custo ... | 123 |
| Tabela 5.6 | Variância para a Média e o S/R | 127 |
| Tabela 5.7 | Parâmetros que contribuem para a variação | 128 |
| Tabela 5.8 | ANAVA para o experimento de verificação | 129 |

RESUMO

Este trabalho visa fornecer um sistema de gerenciamento da qualidade para as fábricas montadoras nacionais.

O objetivo principal do trabalho é obter uma melhor utilização da Assistência Técnica dentro das fábricas montadoras.

Para isso, viu-se a necessidade de se incorporar qualidade ao produto desde o projeto, garantindo que essa qualidade se mantenha até o envio do mesmo ao consumidor, para, neste momento, o departamento de Assistência Técnica garantir que o usuário tenha a melhor utilização possível do produto, durante a sua vida útil.

Então, optou-se pela utilização do QFD (Desdobramento da Função Qualidade) e do Método Taguchi, ferramentas modernas e eficientes na incorporação de qualidade ao produto desde o projeto, adaptando as mesmas para utilização nas fábricas montadoras nacionais.

ABSTRACT

This research work try suply a quality sistem to national factories.

The main objective of the work is to obtain a better use of the service after sales within quality systems of the factories.

Observed, then, the necessity of to incorporate quality in product since project, assurance this product incorporated quality maintain as far as the consumer, to the service after sales assurance that the consumer use of the better way possible the product, during the useful life.

Then, opted to use the Deployment Function Quality e Taguchi Method, actual and effective tools in the incorporation of the quality in the product since project, adapting the tools to use in national factories.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS

Está próximo o final de um século que não apenas testemunhou um extraordinário desenvolvimento global, mas também o final de um milênio no qual a humanidade ampliou seus domínios.

O tempo que falta para um novo século é bastante curto, por um lado, mas apresenta um conjunto de problemas de grande magnitude, para os quais a humanidade deve apresentar uma solução, já que o futuro é, principalmente, ainda que não exclusivamente, uma construção dependente de percepções sobre as realidades presentes e das ações adotadas como resposta a estas percepções, MOURA (1990).

Este conceito, bem como o conjunto de problemas e questões a ele relacionado, diz respeito não só ao mundo, visto como um grande sistema, mas igualmente a cada um de seus subsistemas e, portanto, a cada um dos países.

O Brasil não pode fugir a isto. Enquanto nação, tem que superar problemas atuais e buscar caminhos de adaptação de forma a poder se apresentar no próximo século como uma nação moderna, produtiva, competitiva, politicamente estável e socialmente justa. Neste quadro, de um país que busca realizar o seu destino, o desafio da empresa é de importância fundamental. Há todo um conjunto de novos parâmetros e circunstâncias, locais, nacionais e internacionais, que precisa ser revisto. Num mundo que muda com aceleração crescente e com impacto global cada vez mais abrangente, e num país que inevitavelmente vai mudar e já está mudando, também de forma

acelerada e impactante, é ingênuo supor que a empresa não terá que mudar paralelamente.

Esta mudança empresarial vai atingir estruturas, tecnologias, processos e comportamentos, para os quais se exigirá uma nova forma de competência gerencial, competência esta que deverá começar por uma compreensão mais profunda do contexto universal, das novas demandas, e das novas condições e opções que o Brasil vai enfrentar.

Este trabalho foi idealizado inicialmente a partir de fábricas montadoras do polo industrial de Caxias do Sul e, mais tarde, abriu-se para todas as fábricas montadoras nacionais. É que as características deste tipo de empresa se mantêm para a maioria das fábricas montadoras do país. Desta forma, este trabalho visa principalmente, que o usuário do produto tenha condições de obter o melhor desempenho do mesmo e de suas características. Busca-se isso através de uma melhor utilização por parte da fábrica do serviço de pós venda, que indica para o usuário a melhor forma de utilização do produto, bem como capta possíveis reclamações ou queixas dos mesmos em relação ao produto em uso.

Para atingir este objetivo viu-se a imensa necessidade de se incorporar qualidade desde a concepção do produto, para depois, então, manter-se essa qualidade durante o uso do mesmo.

Observando a evolução dos sistemas de controle da qualidade e adequando modernas ferramentas para seu gerenciamento, busca-se para as fábricas montadoras nacionais, através do desenvolvimento de um sistema para gerenciamento da qualidade, tornar este tipo de empresa mais competitiva.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A sociedade de consumo e o desenvolvimento tecnológico têm gerado novos mercados e despertado necessidades latentes.

Entretanto, a informação destas necessidades, na maioria dos casos, é bastante vaga e subjetiva. Além disto, uma empresa, para ser competitiva, tem que projetar e desenvolver produtos com qualidade, e em menor tempo.

Mostra-se indispensável, para isso, que as atividades desde a concepção do produto até o consumidor final, sejam guiadas por uma metodologia sistemática. Porém, esta metodologia deve estar apta a evoluir com as idéias e ferramentas.

Vê-se, hoje, em grande parte das fábricas montadoras, o departamento de vendas solicitando um produto ao de projeto; o departamento de projeto necessitando de um longo tempo para pesquisar, saber o que realmente precisa ser feito, escolher a melhor forma de se fazer, colocar a idéia no papel e, finalmente, testar e ver se atende às necessidades.

Posteriormente, tem que se elaborar um roteiro de processo, saber o que é necessário para se fazer o produto desejado e o que vai ser adquirido de terceiros. Finalmente, produz-se o artigo e o mesmo é montado e repassado ao consumidor existindo um departamento de garantia e assistência técnica que atenda ao consumidor.

Como os setores são independentes, uma idéia inicial do produto pode chegar desfigurada ao consumidor, pois fixam-se tolerâncias que resultam em montagem com problemas ou em processos de produção especiais desnecessários, e outros. Enfim, resulta numa perda de qualidade e produtividade e, além disso, impõe-se um prejuízo à sociedade a partir do momento em que o produto é liberado para a venda.

Nota-se também que, muitas vezes, o produto não cumpre as funções requeridas devido a uma má utilização do mesmo por parte do usuário. Uma má utilização do produto provoca quebra ou dano do mesmo, antes do término de sua vida útil, ou, até mesmo, antes de terminar o tempo em que ele é coberto pela garantia, ocorrendo a perda de qualidade.

1.3 IMPORTÂNCIA DO PROBLEMA

A estratégia de desenvolvimento industrial do Brasil tem que ser calcada nos princípios de qualidade e produtividade. A competição internacional é cada vez mais influenciada pela qualidade e produtividade e menos pelas tradicionais vantagens comparativas associadas ao uso de fatores de produção abundantes e baratos. O sucesso ou fracasso de cada empresa depende do aprimoramento constante de seus índices de qualidade e produtividade, sem o que não terá condições de competir.

A qualidade de um produto, do ponto de vista do mercado, segundo JURAN (1992), é uma conjugação entre a capacidade de desempenhar funções requeridas pelo mesmo e a posse de características que leve o consumidor a optar por esse produto.

A qualidade já na fase de projeto é, atualmente, a base de toda a empresa competitiva. As tecnologias e as práticas aplicadas nas maiores empresas do mundo, nestes últimos anos, têm sido essencialmente na fase de projeto do processo e do produto, YUKIMURA (1993).

Dentro desta filosofia de se obter um produto com qualidade e eficiência desde a sua concepção destacam-se o Método Taguchi e o Desdobramento da Função Qualidade (QFD), que são ferramentas modernas na busca de se lançar produtos em tempo reduzido e com capacidade de conquistar consumidores.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

Pretende-se, como objetivo geral deste trabalho, desenvolver e propor um sistema de gerenciamento da qualidade

que garanta a qualidade do produto em todas as fases do seu ciclo de vida (planejamento, etapas de projeto, projeto do processo de produção, controle do processo de produção, desenvolvimento do mercado, manutenção e assistência técnica), para que, mais exatamente, nas fases de manutenção e assistência técnica se consiga manter essa qualidade, durante a utilização do produto, pelo consumidor final. As empresas alvo deste trabalho são as fábricas montadoras nacionais.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são os seguintes:

1. Mostrar a importância da assistência técnica e garantia como um setor que pode viabilizar que o consumidor tenha a melhor utilização do produto, e que, também, consegue manter a qualidade que foi incorporada ao mesmo.
2. Reduzir a perda total para o consumidor oferecendo um produto e um processo robustos.
3. Ter uma forma de se obter informações referentes ao produto em uso, para, a partir de possíveis reclamações ou ausência de qualidade do mesmo, fazer-se um novo planejamento.
4. Aumentar a interface entre o serviço de pós venda e o projeto.

1.5 LIMITAÇÕES DO TEMA

Este trabalho, desde a sua concepção, visa minimizar um problema comum em fábricas montadoras: as reclamações de garantia que não ocorrem por uma deficiência do produto, mas sim, por sua má utilização.

Notou-se que grande parte das reclamações de garantia ocorriam devido a uma má utilização do produto, situação em que a fábrica não garante a parte danificada, gerando uma insatisfação do consumidor.

A partir disto viu-se a necessidade de se fazer um planejamento para a qualidade do produto, desde a sua concepção, para, após a venda, conseguir prestar uma assistência técnica que também incorpore qualidade ao mesmo.

Este trabalho trará resultados a médio prazo, e os reflexos das medidas a serem tomadas chegarão no Departamento de Assistência Técnica, também, em médio prazo.

Além disso, as empresas alvo deste trabalho, na maioria, não utilizam o Controle de Qualidade Total ou ele está ainda em processo de implantação, o que limita em muito a utilização das ferramentas gerenciais da qualidade total, não só do produto como da empresa em geral.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em sete capítulos.

No primeiro, que é o presente, consta a introdução do trabalho, com seus objetivos e limitações do tema.

O segundo capítulo descreve as questões que afetam a qualidade e produtividade em fabricas montadoras, considerando-se todas as etapas do ciclo de vida do produto. E discute-se, também, possíveis soluções para o problema.

O terceiro capítulo trata do Desdobramento da Função Qualidade (QFD), ferramenta que será utilizada como um guia para projeto e desenvolvimento do produto, incorporando qualidade ao mesmo desde a sua concepção.

O quarto capítulo trata do Método Taguchi, dando ênfase ao projeto por parâmetros e a função perda no controle da qualidade "off-line" (fora da linha).

O quinto capítulo descreve o sistema de gerenciamento da qualidade proposto e a forma de sua utilização, descrevendo-se cada etapa com exemplos.

O sexto capítulo relata a execução da matriz de planejamento da assistência técnica em uma fábrica montadora.

Finalmente, o sétimo capítulo apresenta as conclusões e recomendações deste trabalho.

CAPÍTULO 2 - QUALIDADE DESDE O PROJETO EM FÁBRICAS MONTADORAS

2.1 INTRODUÇÃO

A modernização industrial requer que se adote novos métodos de gerenciamento da produção e da gestão tecnológica na empresa, bem como depende da capacidade de incorporação de novas tecnologias de produto e processo na atividade produtiva.

Na ordem dessas considerações, os grandes desafios estão em se buscar a racionalização, a modernização e a competitividade, para as quais são indispensáveis a qualidade e a produtividade.

Para se colocar em prática novos métodos de gerenciamento da qualidade e produtividade, deve-se compreender como evoluíram estes conceitos, seu estágio atual e suas perspectivas.

E ainda, para se incorporar qualidade em todas as fases do ciclo de vida do produto é necessário se ter claro como se cumprem estas fases, principalmente no projeto e desenvolvimento do produto, que é a base do sistema produtivo da empresa.

2.2 A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DA QUALIDADE

Antes da industrialização, os trabalhadores individuais (artesãos) inspecionavam seu próprio trabalho. Gradualmente o trabalho se tornou mais especializado, sendo necessário o uso de inspetores, que tinham a função de

inspecionar o trabalho dos outros. Assim o trabalhador da produção transferiu a responsabilidade de qualidade ao inspetor. Qualquer parte defeituosa seria removida por ele ou reparada antes de ser liberada.

Com o crescimento das fábricas, este trabalho tornou-se muito grande para os inspetores, sendo necessário criar uma engenharia de inspeção e desenvolver uma tecnologia da qualidade para projetar ferramentas que o assistissem.

À medida que a complexidade dos produtos aumentou e a competitividade no mercado cresceu, o assunto qualidade recebeu maior interesse de estudo, porém direcionavam-se os esforços para a fabricação. Junto com este pensamento, questões como custo, produtividade e tempo de lançamento, são colocadas como elementos chaves no estudo da qualidade.

Segundo GODFREY e FUCHS (1986), a história da metodologia da qualidade divide-se em quatro fases contínuas e sobrepostas, o que faz os sistemas de qualidade, conseqüentemente, atravessarem essas quatro fases, que são: inspeção, controle de processos, desenvolvimento da qualidade e qualidade desde o projeto. Na INTERNET (1995), já se encontra a projeção para a próxima fase, projeto e fabricação integrados. A figura 2.1 mostra esta evolução.

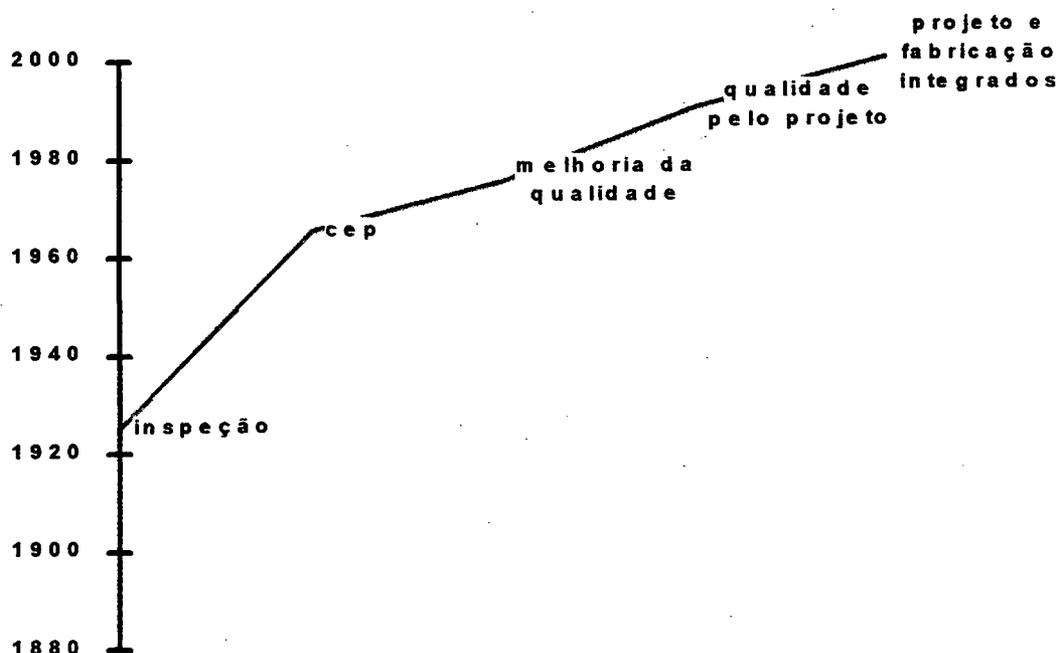


Fig. 2.1 - Evolução dos Sistemas de Qualidade (INTERNET, 1995)

Na primeira fase, o fabricante conta com a inspeção como o último passo antes do envio do produto; pela razão de a inspeção ser imperfeita, consumidores sabem que devem inspecionar o produto antes de aceitá-lo.

No controle do processo também se usa mensuramento e inspeção, mas incluídos no ciclo de manufatura. Agora, são medidos parâmetros de processo, partes do produto e montagens parciais, e não somente no produto acabado.

Métodos estatísticos determinam como muitas medições constituem uma adequada amostra e como informar se um processo está sob controle, ou se um grupo inteiro é considerado bom.

O desenvolvimento da qualidade vai avançando constantemente. O objetivo não está muito longe da inspeção ou do controle do processo, "para níveis aceitáveis". Dados do controle do processo e da inspeção são analisados de preferência para determinar a origem e a causa dos erros, e os processos são desenvolvidos para diminuir a ocorrência dos mesmos.

A qualidade desde o projeto inclui tudo isto e mais a qualidade projetada dentro do produto e dentro do processo de manufatura, começando na concepção inicial do produto.

Agora, mais do que nunca, custos de processamento e capacidade de repetição podem descaracterizar novos programas de qualidade, feitos corretamente em busca de benefícios. Melhoramentos marginais no controle de processos de fabricação, ainda que úteis em um curto tempo, não dão o necessário nível de qualidade, confiabilidade ou economia de produção. Por isso, é necessário ter-se o projeto e a fabricação mais intimamente integrados.

O grau no qual uma organização enfatiza uma fase ou outra no seu sistema de qualidade depende da maturidade e da postura competitiva da empresa.

A transição de uma fase para outra é geralmente um processo de dois passos. O primeiro passo envolve o desenvolvimento de uma nova tecnologia, a qual pode ser produto, processo ou tecnologia da qualidade. O segundo passo é a implementação de novos sistemas de gerenciamento da qualidade, que encontram as necessidades e/ou obtêm vantagens das novas tecnologias.

2.2.1 - INSPEÇÃO

A inspeção tem sido uma técnica fundamental usada no controle de qualidade por vários de anos e ainda ocupa um válido e útil lugar em qualquer sistema de gerenciamento da qualidade (no sentido de mensuramento, teste, observação, e assim por diante), dando a informação que dirige todas as outras partes de um sistema de qualidade, e ainda uma útil maneira de separar o ruim do bom.

Desde 1789 alguns acontecimentos abriram caminho para se estabelecer a base das técnicas do controle de qualidade, iniciando com o controle por inspeção. Porém, de 1925 a 1941, o desenvolvimento da teoria da qualidade foi marcante. As principais contribuições vieram do grupo de inspeção instalado na Bell Telephone Laboratories, formado por um corpo de especialistas considerado como iniciante do controle de qualidade moderno, entre estes: Shewart, Dodge, Roming, Juran e outros.

As obrigações desse departamento eram desenvolver a teoria de inspeção, métodos para medição e relatos da qualidade, estabelecer padrões econômicos para qualidade, e estudar qualidade e desempenho de produtos em serviço. A tecnologia desenvolvida pelo grupo, segundo GODFREY e FUCHS (1986), trouxe os seguintes desenvolvimentos:

- A terminologia de aceitação por amostragem (risco do consumidor e do produtor, probabilidade de aceitação, as curvas características de operação, fração defeituosa tolerável, inspeção média total, amostragem dupla, risco tipo A e tipo B);
- Tabela de amostragem AOQL (Qualidade média resultante limite);
- Amostragem múltipla.

A inspeção por amostragem não evita a fabricação de itens defeituosos. Em vez disso, é uma ferramenta de tomada de decisão, pela qual as conclusões são procuradas para aceitabilidade ou não de um lote ou processo. Indiretamente, a amostragem de aceitação pela eliminação ou retrabalho de lotes com falta de qualidade pode melhorar a qualidade global do produto.

2.2.2 - CONTROLE DE PROCESSOS

No início de 1924, Shewhart deu a sua chefia uma curta nota anexada ao diagrama que mudaria para sempre a prática do controle de qualidade. Onde a inspeção tinha centrado esforços no encontro e remoção de maus produtos ou lotes de produtos antes de serem adquiridos pelo consumidor, Shewhart viu como técnicas estatísticas poderiam ser usadas para aumentar a quantidade de bons produtos sendo manufaturados.

A melhor ferramenta para se saber se o processo está cumprindo seu objetivo, que é fazer produtos conforme especificações, é a carta de controle.

A carta de controle (ver figura 2.2) é um gráfico de comparação dos dados do desempenho do processo via "limites de controle" retirados como linhas limites na carta. Os dados de desempenho do processo usualmente consistem de grupos de medidas selecionadas em uma seqüência regular da produção, preservando a ordem. As linhas limites dão à carta de controle o poder analítico que possibilita a seu usuário determinar se um processo pode ser considerado estável (sob controle), isto é, pontos na zona I, onde a variabilidade é devida somente a causas aleatórias. Também pode ser instável (fora de controle) com pontos na zona II, cuja variabilidade não é de causas aleatórias, ou seja, as causas não são previsíveis.

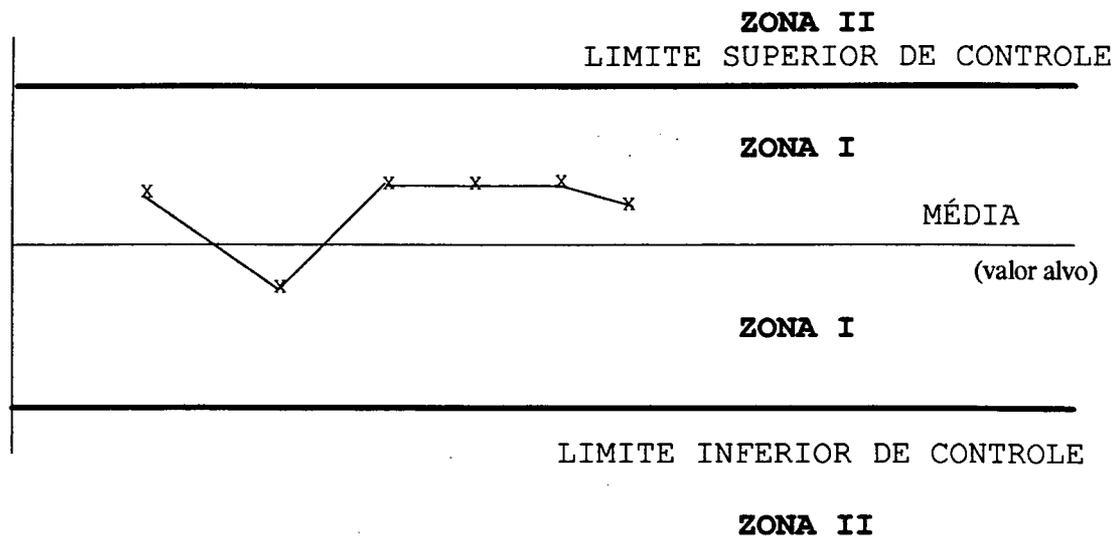


Fig. 2.2 - Carta de Controle do Processo. (GODFREY e FUCHS, 1986)

A informação que se obtém com estas cartas de controle pode proporcionar a capacidade de continuar o controle no caso de um processo estável ou conseguir esse controle no caso de um processo instável.

2.2.3 - DESENVOLVIMENTO DA QUALIDADE

O desenvolvimento contínuo da qualidade começou no Japão, mas foi inspirada em dois americanos, Deming e Juran. Muitas pessoas reconheceram que após a Segunda Guerra Mundial, para o Japão se reconstruir e vir a ser uma grande nação comerciante, um intenso programa de desenvolvimento contínuo da qualidade seria necessário.

Os produtos japoneses estavam longe da competitividade na qualidade e confiabilidade e eram vendidos apenas à base de baixos preços. Então, trabalhando fechadamente com altos administradores no Japão, Deming e Juran, executando estes simples métodos de controle estatístico da qualidade, aplicados em todas as áreas produtivas da companhia, deram as

condições para se fazer os produtos japoneses mais competitivos.

As idéias difundiram-se amplamente e, com este impulso, o Japão liderou os programas de controle total da qualidade e a idéia de melhoria contínua da mesma, sendo fonte de inspiração de muitas nações.

2.2.4 - QUALIDADE DESDE O PROJETO

As atividades de controle de qualidade na fase de projeto tiveram seu início na metade dos anos 40 e início dos 50, com uma contribuição antecipada por George Lenembach na Bell Laboratories e Hugo Hamaker na Holanda, FUCHS (1986).

Mas, foi no início dos anos 60 que vários trabalhos começaram a ser feitos para a boa qualidade da área, tendo-se dado maior ênfase à garantia e confiabilidade.

Em 1970 os trabalhos estavam sendo feitos na análise estatística da garantia, com os programas de controle de qualidade na fase de projeto quantificando a confiabilidade.

Os anos noventa apontam a importância de se prestar mais atenção na fase projetual, pelo seu efeito direto no nível de qualidade, tempo de desenvolvimento e custos. Para isso, foi acrescentado o uso de técnicas, métodos e de ferramentas tecnológicas (hardware e software) para assegurar alta qualidade.

2.3 CICLO DE DESENVOLVIMENTO DE UM PRODUTO

As empresas alvo deste trabalho, fábricas montadoras, trabalham, na sua grande maioria, dividindo o ciclo de

desenvolvimento de um produto nas fases de concepção e viabilidade, detalhamento do projeto, protótipo, pré-produção, produção e alterações de projeto, como é apresentado por JURAN e GRZYNA (1970). Sendo que o tipo de produto influencia na interrupção do ciclo de vida dentro das fases individualmente, e também no tempo e no esforço gastos em cada fase.

2.3.1 - CONCEPÇÃO E VIABILIDADE

Nesta fase são conhecidas ou antecipadas as necessidades para um produto estudado e são detalhadas minuciosamente o bastante para se determinar a viabilidade do projeto e da fabricação do produto, sendo um importante elemento nesta fase a expectativa de custo para a companhia e para o consumidor. Esta fase culmina com a decisão se é viável ou não continuar com o projeto.

2.3.2 - PROJETO DETALHADO

As alternativas das idéias de projeto são evoluídas, seleciona-se uma mais promissora e projeta-se o produto em suficientes detalhes para se preparar especificações de compra das partes e materiais, e também para se planejar a fabricação do protótipo para teste. Para produtos complexos, esta fase pode dividir-se em duas: uma trata da mais detalhada exploração das várias idéias de projeto descobertas no estágio da viabilidade; a outra é a seleção de uma idéia final de projeto seguida de um projeto detalhado e completo.

Existe sempre a possibilidade de, durante o detalhamento ou após o projeto estar detalhado, de se comprovar que uma idéia de projeto selecionada não é mais viável, e descartar-se a mesma.

2.3.3 - PROTÓTIPO

Nesta fase fabricam-se as primeiras unidades completas do produto e testam-se as mesmas. Os testes podem avaliar características, tais como, capacidade básica do projeto, efeitos do meio ambiente externo e resistência para grandes períodos de operação. As unidades construídas podem não ser totalmente completas, mas são completas o bastante para se testar adequadamente uma aproximação do projeto básico.

Preferencialmente, fabricam-se unidades do protótipo usando os procedimentos de manufatura e equipamentos planejados para a produção em série, mas isso algumas vezes não é possível. Neste caso, o resultado dos testes pode não ser completamente representativo do que se fará na produção das unidades. Portanto, a fase de protótipo é um importante meio para o projetista avaliar a adequação de seu projeto aproximado e para revisá-lo previamente para os procedimentos de fabricação estabelecidos.

2.3.4 - DEMONSTRAÇÃO DA PRÉ PRODUÇÃO

Prepara-se um delineamento da produção e avalia-se pela produtibilidade e funcionabilidade.

O delineamento da produção difere do projeto do protótipo nas mudanças feitas por uma variedade de razões: simplifica-se o processo de fabricação, corta-se o custo de materiais, padroniza-se pelo maior intercâmbio com produtos existentes, utiliza-se facilidades apresentadas na produção, etc.

Em seguida, faz-se uma pré-produção de um lote do produto, para o projeto do processo de produção, usando o equipamento da mesma. Testa-se então esta produção "piloto" algumas vezes sob condições de uso simuladas.

Baseando-se nos resultados dos testes e na experiência de fabricação, o projeto é ou liberado para produção em série ou retorna para ser retrabalhado.

2.3.5 - PRODUÇÃO

Esta é a produção regular para distribuição e venda a consumidores.

2.3.6 - ALTERAÇÕES DE PROJETO

Baseando-se na experiência ganha na produção, marketing e uso do produto, fazem-se as alterações de projeto para melhorar o desempenho do produto e eliminar falhas que são mostradas sob condições de uso.

Tradicionalmente, a condução das já mencionadas atividades é delegada aos departamentos de desenvolvimento do produto, projeto do produto e planejamento da fabricação. O pessoal, nestes departamentos, é formado por engenheiros

competentes e hábeis projetistas, todos com grandes recursos na solução de problemas conhecidos e, em certo grau, imaginativos em antecipar imprevistos. Entretanto, as vezes eles não desenvolvem ou não aceitam maneiras modernas de resolver problemas imprevistos.

Enquanto se conhecem modernas técnicas de maneira geral, o departamento de controle de qualidade que tem essas técnicas, até certo ponto bem compreendidas, se ocupa do seu uso após as fases do ciclo de desenvolvimento do produto: controle do processo, inspeção e teste, produção conforme especificação, e outras. Em consequência, novas ferramentas disponíveis que se pode usar durante os primeiros estágios do ciclo de vida do produto não são colocadas em uso. Os engenheiros que trabalham nos primeiros estágios não compreendem ou então não aceitam essas ferramentas; e aqueles que compreendem não participam nestes primeiros estágios.

2.4 PROJETAR PARA A QUALIDADE

Segundo YUKIMURA (1993), o objetivo da qualidade na fase de projeto desdobra-se em duas metas:

Qualidade do Projeto, e
Projetar para a Qualidade.

A qualidade do projeto objetiva que se realize a atividade projetual visando satisfazer os consumidores internos (departamento de fabricação e compras) e externos (usuários). Esta meta encerra, principalmente, a satisfação do consumidor através do fornecimento de informações corretas, na forma de desenhos, especificações de fabricação e lista de materiais livres de erros. O objetivo é tornar o processo de projeto o mais linear possível, por meio de um fluxo de informações

previamente verificadas, revisadas, avaliadas e corrigidas, resultando num projeto com alta qualidade de informação.

Projeto para a qualidade objetiva que o produto venha satisfazer as necessidades percebidas do consumidor. A meta, aqui, é projetar o produto com todas as dimensões de qualidade requeridas pelo consumidor para sua satisfação plena.

Para que ambas as metas sejam alcançadas é necessário estabelecer uma estrutura administrativa para a qualidade e tecnologias apropriadas para isto.

2.5 A ASSISTÊNCIA TÉCNICA E GARANTIA

IKEZAWA (1994) define melhoria institucional como significando a criação de vantagens as quais não podem ser compradas com dinheiro. As atividades da empresa visariam não apenas realização da venda e obtenção de lucros imediatamente, mas a criação de vantagens as quais não podem ser compradas. Estas devem incluir a criação de uma estável base de distribuição, revendedores e outros.

O mesmo autor, em suas indicações de como desenvolver Controle de Qualidade na Empresa, coloca as atividades de garantia da qualidade como um trabalho essencial para a mesma e divide estas atividades em três grupos: antes da venda, durante a venda e após a venda. Para isto, coloca como atividades ligadas à garantia da qualidade pós venda:

- checagem e monitoramento da qualidade das vendas realizadas inicialmente;
- imediata resposta às reclamações (compensação);
- coleta e encaminhamento das informações relacionadas a reclamações;
- medidas para evitar a repetição da reclamação pela qual a empresa é responsável;

- coleta e encaminhamento das informações gerais relacionadas à qualidade (incluindo informações de confiabilidade);
- pronta resposta para os consertos necessários quando ocorrer o dano e desenvolvimento de uma tecnologia de consertos;
- imediata entrega das partes e serviços quando ocorre o dano, e
- implementação de um periódico serviço completo.

2.6 A ORIGEM DO DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD)

O QFD (quality function deployment ou desdobramento da função qualidade) nasceu como uma evolução natural dos sistemas de qualidade no Japão, na medida em que seus especialistas procuravam desdobrar as características de qualidade de um produto por entre as funções que contribuíam para a qualidade da empresa, com o objetivo de garantir a qualidade do produto já na fase de projeto.

Em 1972, a Indústria Mitsubishi Ltda iniciou o uso do QFD (quality function deployment ou desdobramento da função qualidade) no Japão. O primeiro contato do ocidente com o QFD somente veio a acontecer somente em 1983 com o artigo de KOGURE e AKAO (1983), Desdobramento da Função Qualidade e Controle Total da Qualidade no Japão, sendo que o primeiro estudo de caso aconteceu nos Estados Unidos em 1986, na Ford Motors Co..

No Brasil só se começou a estudar o QFD no fim dos anos 80 e início dos anos 90. A sua utilização nas empresas ainda é muito pequena, mas já existem algumas de grande porte utilizando esta metodologia.

Segundo YUKIMURA (1993), esta técnica tem trazido várias melhorias e vantagens no projeto e desenvolvimento de novos produtos, tais como:

- Redução nas alterações de engenharia de 30% a 50%.
- Ciclo de projeto tem sido encurtado de 30% a 50%.
- Custos de início de operação reduzidos de 20% a 60%.
- Redução nas reclamações de garantia (mais de 50%).
- O Planejamento da garantia da qualidade mais estável.
- Favorecimento da comunicação entre os diferentes departamentos que atuam no desenvolvimento do produto, principalmente marketing e engenharia.
- A Tradução dos requisitos do consumidor facilitada.
- Facilidade maior na identificação das características que mais contribuem nos atributos da qualidade.
- Favorecimento do processo de balanceamento criterioso (trade-off) do projeto que afeta a função do produto para todos os consumidores.
- Melhor percepção de quais são as características e funções que receberão maior atenção.
- Melhor identificação das propriedades e das características de venda do produto.

Com estes resultados a empresa está apta a conseguir as melhores posições do mercado, pois gera aumento da produtividade e da qualidade e, conseqüentemente, da lucratividade. Mas os benefícios mais importantes trazidos pela utilização do QFD são, sem dúvida, os de caráter organizacional, como o enfoque voltado para o consumidor, a quebra de barreiras interdepartamentais e o incentivo ao desenvolvimento do trabalho em equipe.

2.7 A FILOSOFIA TAGUCHI

Hoje menciona-se Taguchi tal como Deming, Ishikawa e Juran. Sua popularidade testemunha o mérito de sua filosofia de

qualidade. A sua metodologia baseia-se na procura da diminuição de uma das principais fontes causadoras de baixa qualidade, a variabilidade. O método de Taguchi aborda a qualidade em todas as fases do ciclo de vida do produto, porém, coloca a fase de projeto como vital para alcançar qualidade a baixo custo.

Taguchi divide o processo de controle de qualidade em duas etapas - controle de qualidade "off-line" e "on-line". A primeira fase cobre as atividades de controle de qualidade e custos, feitas na fase de projeto do produto e processo, e a segunda são todas as atividades de controle de qualidade realizadas na fase de fabricação.

O método Taguchi utiliza-se de duas ferramentas que se sobressaem: a função perda e o uso do delineamento de experimentos. A primeira determina as perdas monetárias pagas pela sociedade devido ao desvio da característica de desempenho do produto do seu valor ideal, e a segunda é a utilização do delineamento de experimentos de uma maneira diferenciada, procurando os níveis dos parâmetros que tornam o produto robusto às fontes de variação e o projeto de tolerâncias de menor custo.

Segundo KACKAR (1986), sete pontos explanam os elementos básicos da filosofia Taguchi em poucas palavras:

1. Uma importante dimensão da qualidade de um produto manufaturado é a perda total gerada por este produto à sociedade.
2. Em uma economia competitiva, desenvolvimento contínuo da qualidade e redução de custo são necessários para se permanecer num negócio.
3. Um programa de desenvolvimento contínuo da qualidade inclui incessante redução na variação do desempenho das características do produto em torno de seus valores alvos.
4. A perda de um consumidor, devido à variação no desempenho de um produto, é aproximadamente proporcional ao quadrado do desvio do desempenho das características de seus valores alvo.

5. A qualidade final e o custo de um produto manufaturado são determinados em grande parte na engenharia de projeto do produto e no processo de manufatura do produto.
6. A variação no desempenho de um produto (ou processo) pode ser reduzida pela exploração dos efeitos não lineares dos parâmetros do produto (ou processo) no desempenho das características.
7. Experimentos estatisticamente planejados podem ser usados para identificar os passos dos parâmetros do produto (e processo) que reduzem a variação do desempenho.

A aplicação da filosofia de Taguchi tem grande penetração na qualidade industrial e no custo do controle de problemas, dada a eficácia dos experimentos estatisticamente planejados. Esta penetração ajuda a explicar o impacto nos programas de controle total da qualidade de muitas companhias japonesas. E, ainda, na opinião de Kackar (1986), outras razões para suas idéias serem bem recebidas são as seguintes:

- Ele tem identificado importantes problemas de qualidade e produtividade já no projeto do produto e do processo.
- Tem proposto uma estratégia integrada (envolvendo idéias de engenharia de qualidade e métodos estatísticos) para atacar estes problemas.
- Ele e seus associados têm ensinado com sucesso esta estratégia a milhares de engenheiros de diferentes companhias.
- Muitas companhias têm experimentado com sucesso a estratégia de Taguchi para controle de qualidade "off-line".
- A estratégia de Taguchi não é usada isoladamente. É uma parte integrante de um programa inteiro de controle total da qualidade.

Como são colocadas várias verificações e estimativas em um programa de controle total da qualidade, a falta de sofisticação em alguns dos métodos estatísticos propostos por Taguchi parece não ter conseqüências adversas.

2.8 A ENGENHARIA DA QUALIDADE

Segundo TAGUGHI et al.(1990), de modo ideal, um sistema de controle total da qualidade, em que todas as atividades interajam a para produção de produtos com desvios mínimos dos valores nominais, vai minimizar custos da qualidade e empregar da maneira mais econômica todos os recursos da empresa. Esse sistema, que tem por objetivo atingir uma produção controlada de produtos com qualidade superior, pode ser chamado de "sistema orientado para a qualidade total da empresa".

O sistema total envolve o conceito da qualidade e o seu custo durante todas as fases do ciclo de vida de um produto: o seu planejamento, as etapas de projeto, do projeto do processo de produção, de controle de processos de produção, de desenvolvimento de mercado e embalagem, a manutenção e a assistência técnica.

O propósito geral do sistema total da qualidade é produzir um produto que seja robusto em relação a todos os fatores perturbadores. Robustez indica que características funcionais do produto não são sensíveis às variações sofridas por esses mesmos fatores. Com o objetivo de alcançar essa robustez, esforços de controle da qualidade devem começar na fase de projeto do produto e continuar durante as fases de engenharia da produção e fabricação.

2.8.1 ENGENHARIA DA QUALIDADE NO PROJETO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

Quando o projeto e a fabricação de protótipo com tolerâncias e especificações otimamente determinadas estão

completos, a industrialização do produto continua com novas etapas de projeto.

No projeto do sistema (relacionado aos processos de produção) determinam-se processos industriais exigidos para se executar uma certa etapa do trabalho de transformação parcial para outro estágio mais avançado. Durante os processos de fabricação, energia é adicionada aos itens em processo com o objetivo de se modificar suas formas, de remover material das mesmas ou de alterar suas propriedades físicas e suas funções.

O objetivo principal do projeto de sistema é determinar processos industriais que possam fabricar o produto dentro dos limites e das tolerâncias especificadas com menor custo.

2.8.2 ENGENHARIA DA QUALIDADE NA PRODUÇÃO

O controle da qualidade na linha se refere às atividades diárias para se controlar condições do processo, observando-se tanto características da qualidade de produtos como parâmetros de processos. Sabe-se que todos os processos estão sujeitos a deriva se controles não forem postos em prática. Portanto, o objetivo do controle da qualidade na linha é fabricar produtos uniformes ajustando processos de acordo com informação obtida a respeito de processos e/ou de produtos fabricados. Baseada nesta informação, a produção deve ser planejada para minimizar a perda da qualidade ou o custo.

Sem se controlar o processo, não é possível controlar a qualidade de um produto.

2.8.3 ENGENHARIA DA QUALIDADE NA ASSISTÊNCIA TÉCNICA

Apesar de rígidos controles aplicados nas etapas de projeto e de produção, alguns produtos não conformes chegam até os consumidores. Tais produtos podem criar problemas em processos subseqüentes e resultar até em problemas de responsabilidade civil, uma vez que cheguem ao mercado. Deve-se providenciar a assistência técnica especializada para o caso de reclamações dos consumidores.

Cabe ao departamento de vendas dos fabricantes o fornecimento de serviço adequado aos consumidores com reclamações justas. Este serviço deve estar capacitado para consertar ou para repor produtos não conformes e indenizá-los pelos prejuízos que possam ter sofrido.

2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se propõe a desenvolver as três últimas fases dos sistemas de qualidade. As empresas evoluem por estas fases de acordo com o grau de maturidade que as mesmas atingem.

Já que estas fases são sobrepostas e dependentes umas das outras, opta-se por dar maior ênfase à qualidade desde o projeto como forma de promover a fase de melhoria da qualidade e começar a integração entre projeto e manufatura.

As ferramentas que serão utilizadas para cumprir este objetivo já se mostraram de grande eficiência através de relatos de sua aplicação em outros países e até mesmo no Brasil. O que não é muito claro, e que se fará nos próximos capítulos deste trabalho, é mostrar como utilizá-las, assim como adequá-las à situação na qual se encontram as empresas aqui relatadas.

CAPÍTULO 3 - O DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE - QFD

3.1 INTRODUÇÃO

Como visto anteriormente, esforços para desenvolver novos produtos e a melhoria dos produtos já existentes são cruciais para a sobrevivência das empresas.

Apresenta-se, aqui, o QFD como uma ferramenta capaz de assegurar a qualidade requerida pelos consumidores em todas as fases do processo de desenvolvimento do produto, assim como na fase de pós-venda do mesmo, como uma forma de garantir que a qualidade incorporada ao produto durante todas as fases de produção se garanta também na sua utilização usuário.

Um importante aspecto que também se considera é que no serviço de pós venda pode-se obter o retorno do mercado em relação ao produto. As informações que retornariam da assistência técnica e garantia do produto serviriam de realimentação para execução de um novo trabalho de QFD, num processo de melhoria contínua.

3.2 DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO QUALIDADE (QFD)

Para melhor compreender QFD, algumas considerações se tornam fundamentais.

A) DESDOBRAMENTO DA QUALIDADE (QUALITY DEPLOYMENT)

Atualmente no Japão se denomina Quality Function Deployment (Desdobramento da Função Qualidade) de Quality Deployment (Desdobramento da Qualidade), pela sua maior abrangência, sendo que o Desdobramento da Função Qualidade é considerado apenas uma parte do Desdobramento da Qualidade.

Desdobramento da Qualidade refere-se às cartas, tabelas e matrizes descritivas usadas para projetar a qualidade necessária no produto ou serviço. No ocidente, chama-se estas cartas, e assim por diante, de QFD, AKAO (1988).

B) DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO (FUNCTION DEPLOYMENT)

O desdobramento da função é freqüentemente um passo à frente no QFD, quando as funções básicas do produto ou serviço já foram identificadas pela experiência das pessoas do departamento de produção da companhia. Certos produtos ou serviços iniciam com estas funções básicas porque seu produto ou serviço é transparente para o consumidor, AKAO (1988).

Desdobramento da função tem sido comparado como a "voz do engenheiro", identificando o "deve ser" atribuído ao produto ou serviço. Estas funções básicas ou "deve ser" são incompreensíveis para o consumidor, a não ser que o consumidor tenha experimentado a falta da qualidade.

Neste trabalho utiliza-se o termo QFD (Quality Function Deployment) ou Desdobramento da Função Qualidade, de uma forma geral, para se designar também o que é considerado pelos japoneses e alguns estudiosos ocidentais o Desdobramento da Qualidade.

3.2.1 DEFINIÇÕES

AKAO (1988) define QFD como: "a conversão das demandas dos consumidores em características de qualidade e no desenvolvimento de um projeto de qualidade para o produto acabado ao sistematicamente desdobrar as relações entre demandas e características, começando com a qualidade de cada componente funcional e estendendo o desdobramento para a qualidade de cada parte ou processo". Akao, diz ainda que "a qualidade será formada por esta rede de informações".

KING (1987) define QFD como: "uma ferramenta multifuncional que permite às organizações priorizar as demandas dos consumidores, desenvolver respostas inovadoras para suas necessidades, que sejam confiáveis e de custo efetivo. E, ainda, direcionar uma implementação bem sucedida envolvendo todos os departamentos da empresa."

Para EUREKA (1992) QFD é "um sistema que traduz as necessidades dos clientes em apropriados requisitos para a empresa, em cada estágio do ciclo de desenvolvimento de um produto ou serviço, desde a pesquisa e desenvolvimento até engenharia, produção, marketing, vendas e distribuição."

HAUSER e CLAUSING (1988) definem o QFD ou "Casa da Qualidade" como: "uma classe de mapa conceitual que provê os meios para planejamento e comunicação interfuncional."

FORTUNA (1988) escreveu que o QFD é "um meio sistemático de assegurar que a demanda do consumidor ou mercado (requisitos, necessidades ou desejos) seja traduzida de forma precisa em especificações técnicas relevantes e ações, através de cada estágio do ciclo de projeto e desenvolvimento do produto."

Neste trabalho está sendo proposto que, à definição de Eureka (1992), seja acrescentada a Assistência Técnica, o monitoramento da qualidade pós-venda.

3.2.2 ABORDAGENS

Existem várias formas de se abordar um sistema QFD, visto que a metodologia QFD oferece um amplo espectro de aplicações. No seu desenvolvimento, o QFD não tem se restringido somente ao planejamento da qualidade dos produtos. Ele também está sendo usado no planejamento organizacional, planejamento de empresas de serviços, planejamento estratégico das organizações e outros, MADDUX et al. (1991) e HAUSER E CLAUSING (1988).

A) ABORDAGEM DE AKAO

Yoji Akao foi nomeado presidente do comitê de pesquisa sobre QFD da JSQC (Japan Society for Quality Control) no início dos anos 70 e ocupou este posto até 1987 quando a promoção do QFD já estava completada com sucesso e o comitê foi desfeito. Akao pesquisou todos os estudos publicados sobre QFD e juntou as contribuições de cada um dentro de um sistema inteligível, KING (1987).

Esta foi a primeira abordagem a se divulgar no Ocidente. É uma abordagem abrangente, e a partir do desdobramento da qualidade engloba também o desdobramento da tecnologia, dos custos e da confiabilidade.

O QFD, como apresentado por Akao, provê métodos específicos para se assegurar a qualidade em todos os estágios do processo de desenvolvimento do produto, iniciando com o projeto. Em outras palavras, este é um método para se desenvolver um projeto de qualidade dirigido à satisfação do consumidor, traduzindo as demandas dos consumidores dentro de

metas de projeto e maiores pontos de garantia da qualidade, para ser usado durante o estágio da produção.

Akao propõe uma série de matrizes descritivas para cada fase de desdobramento como segue:

DESDOBRAMENTO DA QUALIDADE ⇒ DESDOBRAMENTO DA FUNÇÃO ⇒
DESDOBRAMENTO DO MECANISMO ⇒ DESDOBRAMENTO DA PRODUÇÃO

E, em outro nível de desdobramento e, em seqüência, propõe o DESDOBRAMENTO DA TECNOLOGIA, DESDOBRAMENTO DA CONFIABILIDADE e o DESDOBRAMENTO DO CUSTO.

Para sua utilização, estas fases não dependem umas das outras, sendo que se utiliza os desdobramentos que melhor se adaptem à situação (tipo de empresa, metas, estratégia e outros). É proposta ainda uma série de técnicas e ferramentas da Engenharia da Qualidade como auxílio na execução das matrizes (Engenharia de Gargalos, Análise de Modo e Efeito de Falhas, Método Taguchi, e outros).

B) ABORDAGEM DE BOB KING

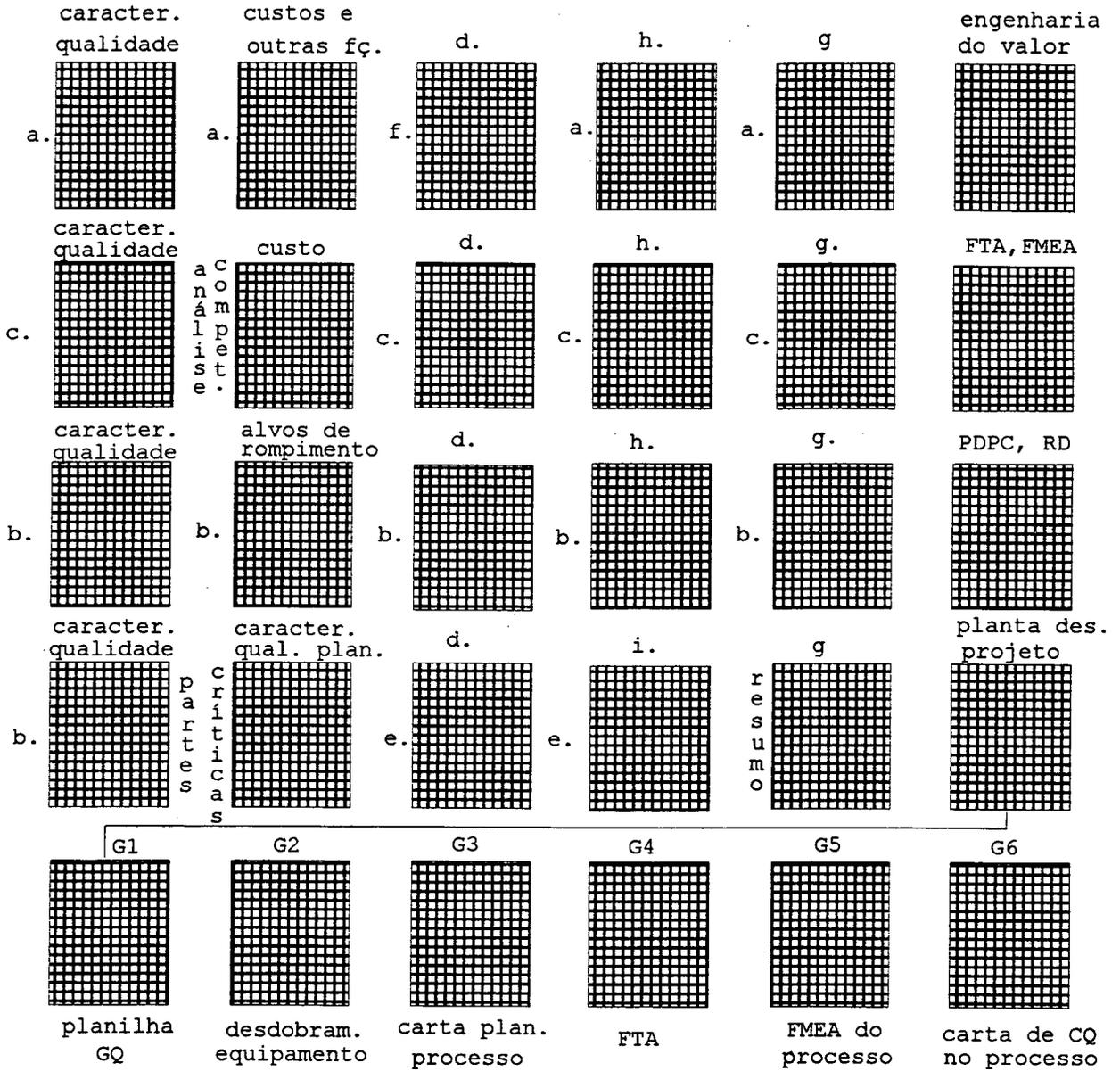
Esta abordagem é praticamente igual à de Akao. King fez um re-arranjo do sistema montado por Akao para uma melhor compreensão e facilidade na implementação do QFD nos países ocidentais, principalmente nos Estados Unidos. As mudanças estão centradas em três pontos fundamentais.

Em primeiro lugar foi alterada a forma de ensinar o QFD. No Japão muitos assuntos são ensinados através de enigmas, e o estudante aprende pela solução dos mesmos. King mudou estes enigmas tornando mais fáceis a absorção e compreensão dos conceitos e procedimentos.

Em segundo lugar, King introduziu o conceito para seleção de métodos de Stuart Pugh. A adição dos novos conceitos de seleção, ao modelo japonês, assegura a inovação no processo de QFD.

Por último, o arranjo das matrizes, apesar de incluir todas as matrizes do sistema de Akao, difere ligeiramente. Muitos praticantes do QFD pediam um sistema no qual eles pudessem preencher fila por fila, de alto a baixo. Assim, as matrizes foram rotuladas por colunas e filas. Não é um sistema para ser copiado, é um completo kit de ferramentas do QFD, deve-se escolher as matrizes que ajudarão com os problemas reais ou com a implementação da atual estratégia da companhia.

Matriz das Matrizes é o nome dado à matriz, elaborada por King, que agrupa todas as matrizes.



- a. requisitos dos consumidores
- b. características de qualidade - detalhes
- c. funções
- d. mecanismos prim. nível de detalhes
- e. partes seg. nível de detalhes
- f. novas tecnologias
- g. novas concepções
- h. modos de falha do produto
- i. modo de falha das partes

Fig. 3.1 - Matriz das Matrizes. (KING, 1987)

A matriz das matrizes está organizada da seguinte forma:

- as colunas A, C, D e E simplesmente combinam os cabeçalhos das filas e colunas em matrizes individuais;
- a coluna F contém matrizes que se relacionam com a melhoria do projeto, incluindo redução de custo e aumento da confiabilidade;
- a coluna G inclui matrizes que se relacionam com a determinação de melhorias no processo.

A abordagem de Bob King também cobre o desenvolvimento do produto desde a sua concepção até a produção, e para isso utiliza, além da matriz das matrizes, as sete novas ferramentas da qualidade (ver Anexo 2).

C) ABORDAGEM DE KANEKO

Para a utilização do QFD, mais especificamente na indústria de serviços Kaneko, um especialista japonês em QFD desenvolveu um roteiro de desdobramentos desenvolvido a partir do modelo conceitual de Akao.

As fases de desdobramento propostas são mostradas a seguir:

MATRIZ 1 ⇒ QUALIDADE REQUERIDA X ELEMENTOS DE QUALIDADE

MATRIZ 2 ⇒ ELEMENTOS DE QUALIDADE X FUNÇÕES/PROCESSOS

MATRIZ 3 ⇒ FUNÇÕES/PROCESSOS X PARTES UNITÁRIAS

MATRIZ 4 ⇒ PARTES UNITÁRIAS X ASPECTOS TÉCNICOS

MATRIZ 5 ⇒ ASPECTOS TÉCNICOS X CUSTOS

MATRIZ 6 ⇒ ASPECTOS TÉCNICOS X CONFIABILIDADE

A aplicação do QFD no setor de serviços está apenas começando e, por isto, um maior detalhamento da abordagem fica

prejudicado, sendo que a mesma serve mais como uma referência para a aplicação de QFD ao setor de serviços.

D) ABORDAGEM DE MACABE

Esta abordagem, proposta por Macabe, um consultor japonês de engenharia da confiabilidade, é também chamada de abordagem das quatro fases. É a abordagem mais utilizada devido a sua simplicidade e credita-se a John R. Hauser e Don Clausing a sua introdução nos Estados Unidos com o artigo "The House of Quality" (A Casa da Qualidade), publicado na Harvard Business Review, em junho de 1988.

As quatro fases são as seguintes:

- Fase 1 - Planejamento do Produto ou "Casa da Qualidade"
- Fase 2 - Desdobramento das Partes ou "Projeto do Produto"
- Fase 3 - Planejamento do Processo
- Fase 4 - Planejamento do Controle do Processo ou "Planejamento da Produção".

A cada fase corresponde uma matriz descritiva, que são:

- MATRIZ 1⇒ REQUISITOS DO CONSUMIDOR X REQUISITOS TÉCNICOS
- MATRIZ 2⇒ REQUISITOS TÉCNICOS X CARACTERÍSTICAS DAS PARTES
- MATRIZ 3⇒ CARACTERÍSTICAS DAS PARTES X CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO
- MATRIZ 4⇒ CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO X MÉTODOS DE CONTROLE DO PROCESSO.

Esta abordagem baseia-se nas abordagens de Akao e Bob King, sendo que não é uma abordagem abrangente como aquelas em que é baseada. Porém, é uma abordagem que se pode aplicar a empresas que ainda não utilizam o Controle Total da Qualidade, o que não acontece com as outras.

3.2.3 - A ABORDAGEM UTILIZADA NESTE TRABALHO

Pelas características do tipo de empresa (fábricas montadoras nacionais), que se pretende atingir com este trabalho, a abordagem que se utilizará será a de Macabe, com a proposta de mais uma fase.

A quinta fase proposta se relaciona com a Assistência Técnica, com uma matriz descritiva que nos dará as informações sobre manutenção e utilização do produto e para a retroalimentação do sistema. Esta quinta matriz (fase) encontra embasamento científico nas abordagens de Akao e Bob King, e é uma adequação para a atual situação de grande parte das fábricas montadoras nacionais.

Com a quinta matriz, o modelo ficaria da seguinte maneira:

- MATRIZ 1 ⇒ REQUISITOS DO CONSUMIDOR X REQUISITOS TÉCNICOS
- MATRIZ 2 ⇒ REQUISITOS TÉCNICOS X CARACTERÍSTICAS DAS PARTES
- MATRIZ 3 ⇒ CARACTERÍSTICAS DAS PARTES X CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO
- MATRIZ 4 ⇒ CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO X MÉTODOS DE CONTROLE DO PROCESSO.
- MATRIZ 5 ⇒ CARACTERÍSTICAS DAS PARTES X REQUISITOS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA.

A seguir discute-se cada matriz mais detalhadamente, colocando-se do que se trata cada uma, suas entradas e saídas, como construí-la e quais as possíveis ferramentas auxiliares utilizáveis na construção dessa matriz.

A. MATRIZ 1

É chamada de matriz de planejamento do produto ou a "Casa da Qualidade" e contém os requisitos gerais do consumidor. É utilizada para se traduzir esses requisitos dos consumidores (tirados de avaliações de mercado, comparações com competidores e planos de marketing) em requisitos técnicos de projeto. Essa matriz é a parte mais executada do QFD e, em consequência disto, a mais conhecida.

Segundo KING (1987), a proposta da matriz é listar os requisitos dos consumidores e desenvolver o plano inicial de como eles serão satisfeitos no atual nível de desempenho comparado com o desempenho dos competidores. A matriz prioriza a importância de cada requisito do consumidor e leva em consideração potenciais pontos de vendas. Também revela as características de qualidade que são os itens controláveis, tornando possível satisfazer os requisitos dos consumidores.

Entradas: requisitos dos consumidores, características de qualidade, classificação dos competidores, classificação da companhia.

Saídas: três ou quatro características de qualidade chaves, prioridades para o projeto, que serão planos da companhia.

A seguir, mostra-se a matriz e descreve-se a sua construção.

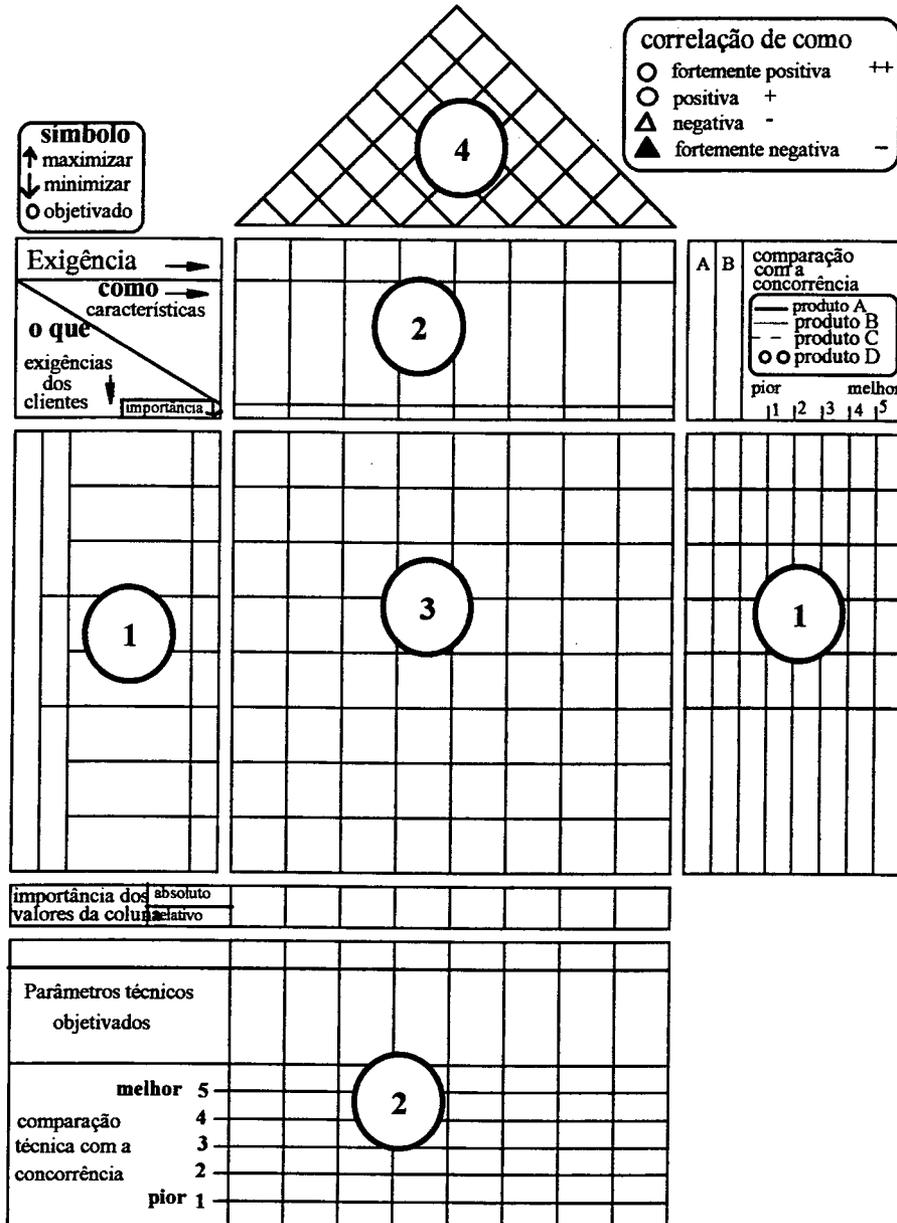


Fig. 3.2 - Matriz de Planejamento do Produto. (STANGE e PEREIRA, 1995)

A.1. PASSO 1

Requisitos do consumidor - É por onde se inicia, via brainstorming na empresa, qualquer trabalho de QFD. Define-se o mercado-alvo e então se faz a coleta das informações. Podem ser

obtidas estas informações (requisitos dos consumidores) usando-se ferramentas como Matriz de Análise de Dados, Estudo Estruturado do Consumidor e Análise e Segmentação do Ponto de Vista do Consumidor. Outras fontes destas informações podem ser necessidades como as expressadas em jornais de negócios, reclamações de garantia, análise de falhas, entrevistas face a face, exposição do produto ou serviço para a utilização do consumidor e se fazer a coleta das informações, e outros.

Os requisitos dos consumidores devem estar na linguagem do consumidor, descrevendo a importância para ele, serem precisos, serem positivos e, se possível, não devem ser números.

Nesta fase, a atenção a todas as reações do cliente ao produto é fundamental, sendo que para a avaliação destes requisitos dos consumidores devemos levar em consideração que, conforme KANO (1984), existem três níveis na qualidade percebida pelos consumidores: o primeiro é a qualidade atraente que, quando incorporada ao produto, causa grande satisfação ao consumidor, porém se estiver ausente ou for só parcialmente incorporada, causará a insatisfação com o produto - o consumidor não pede diretamente por não saber da sua possível existência; o segundo é a qualidade linear que, se estiver presente no produto, causará satisfação e, se estiver ausente trará a insatisfação; o terceiro é a qualidade esperada que, quando presente trará pouca ou nenhuma satisfação ao consumidor, mas quando ausente gerará insatisfação com o produto. Existem outras abordagens para os níveis de qualidade percebida pelo consumidor que, essencialmente, têm as mesmas características do enfoque de Kano.

Para se organizar os requisitos dos consumidores utiliza-se o diagrama de afinidades e para se arranjar e colocar em diferentes níveis esses requisitos, utiliza-se o diagrama de árvore.

Por ser a fase inicial em um trabalho de QFD e a satisfação do cliente o principal objetivo de um sistema de

qualidade, encontrar as necessidades dos consumidores e traduzi-las de maneira correta em requisitos técnicos, torna-se fundamental para o referido trabalho.

Grau de importância - Retornando aos clientes, se faz uma priorização dos requisitos dos consumidores, atribuindo-se, numa escala de 1 a 10, a importância do requisito, sendo que 1 é para o requisito menos importante e 10 para o mais importante.

Comparação companhia X concorrentes - trata-se de uma avaliação de quanto o produto da companhia e o produto dos concorrentes atendem às necessidades dos consumidores. Com dados obtidos através de pesquisas atribuem-se a eles valores numa escala de 1 a 5.

Análise Gráfica - É o local destinado à matriz para se fazer a análise gráfica de cada uma das companhias avaliadas no estudo (a companhia fabricante do produto e as concorrentes).

A.2. PASSO 2

Requisitos Técnicos - (Características de Qualidade) - São os itens controláveis, determinados na companhia (equipes multifuncionais), para garantir que os requisitos dos consumidores sejam satisfeitos. São gerados a partir dos requisitos dos consumidores e devem indicar o que é mensurável e controlável e não devem incluir partes ou nomes de testes.

Pode-se usar os diagramas de afinidades, árvore, e causa efeito.

A.3. PASSO 3

Matriz de Correlações - É o local onde se realiza a correlação entre os requisitos dos consumidores e os requisitos técnicos e onde se utiliza a simbologia característica das matrizes de QFD, que é:

⊙ forte correlação = 9

○ moderada correlação = 3

△ fraca correlação = 1

Peso de Importância - É o valor de cada requisito técnico, que servirá como um critério na priorização destes requisitos, e é calculado pela fórmula:

$PI = \text{grau de importância} \times \text{valor dado na matriz de correlações}$

Peso Relativo - É referente aos requisitos técnicos e fornece o valor de cada requisito em porcentagem. Com o peso relativo podemos encontrar os três ou quatro requisitos técnicos que utilizaremos nas fases posteriores (desdobramento).

Comparação Técnica - Dá a situação em que se encontra a companhia e seus concorrentes, em relação aos requisitos técnicos.

Movimento do Valor-Meta - Indica o sentido da modificação planejada para o requisito técnico. Usa-se:

- ↑ quando a companhia deseja aumentar o valor;
- ↓ quando a companhia deseja diminuir o valor;
- quando deseja encontrar um valor nominal especificado.

Valor-Meta - É estabelecido para que os requisitos técnicos tenham metas claras e possíveis de serem alcançadas.

A.4. PASSO 4

Matriz de Correlação entre os Requisitos Técnicos - Também chamada de "o telhado da casa da qualidade". Dá a relação que um requisito técnico tem com o outro para apontar, além das afinidades, as áreas onde serão necessários trade-offs no projeto. Usa-se a notação:

- ⊙ fortemente positiva
- pouco positiva
- ✕ pouco negativa
- # fortemente negativa

A.5. LINHAS OU COLUNAS OPCIONAIS NESTA MATRIZ

Nível Planejado - Numa escala de 1 a 5, a companhia planeja qual nível pretende atingir, levando em consideração a sua capacidade produtiva e o planejamento estratégico da companhia.

Taxa de Melhoria - É obtida dividindo-se o nível planejado(4) pela companhia pelo nível atual (3) em que a mesma se encontra.

Pontos de Vendas - São os requisitos identificados como mais atraentes para a venda do produto sob a ótica do cliente e considerados importantes pela companhia. Usam-se os seguintes valores para os símbolos:

⊙ muito importante = 1,5.

○ pouco importante = 1,2.

Peso de Importância - Fornece a importância relativa de cada requisito do consumidor, e é calculado da seguinte forma:

Peso = grau de importância X taxa de melhoria X
valor do ponto de venda.

Peso Relativo - Dá o peso, em percentual, de cada requisito em relação aos outros, e é calculado da seguinte forma: em primeiro lugar somam-se os pesos de importância; após, divide o peso de importância de cada requisito pelo total; e, por último, multiplica-se por 100, para se ter o peso percentual de cada requisito do consumidor.

Requisitos Especiais - são normas ou leis que devem ser consideradas no projeto.

Finalmente, se faz uma revisão geral da matriz e é de fundamental importância observar que: uma linha em branco significa que um requisito do consumidor não foi atendido e, então, é necessário se colocar requisito(s) técnico(s) que atenda(m) este requisito. E uma coluna em branco significa que

um requisito técnico não se relacionou com nenhum dos requisitos dos consumidores, por isso deve ser eliminado.

B. MATRIZ 2

Após completar a primeira fase com a confecção da matriz de planejamento do produto, os três ou quatro requisitos técnicos chaves, priorizados nesta matriz servirão como entrada na matriz 2, ou seja, a matriz de projeto do produto. Nesta fase começa o desdobramento para se assegurar que a qualidade requisitada pelos consumidores se mantenha de forma precisa durante o desenvolvimento do produto e do processo.

A proposta da matriz é traduzir os requisitos técnicos chaves em características das partes componentes. Essas partes são itens que compõem os subconjuntos ou mecanismos do produto e as características são parâmetros que as especificam em termos de requisitos de ações ou de controles.

Nesta fase podem-se utilizar atividades de apoio tais como: Análise do Valor/Engenharia do Valor, Análise de Modo de Falha e Efeito (FMEA), Análise de Custos, e outras.

Entradas: Requisitos técnicos chaves e características das partes.

Saídas: partes críticas para serem controladas e otimizadas.

características críticas com seus valores meta serão alcançados; é a transição das operações de projeto para as de fabricação.

Esta matriz transfere ao chão de fábrica as informações geradas nas fases anteriores. Uma série de tabelas e cartas de controle da qualidade é gerada para cumprir esta fase. As informações fornecidas através destes documentos permitem a identificação de pontos de controle e possibilitam que se estabeleça uma estratégia para planejar o controle da qualidade do produto.

As atividades de apoio que podem ser realizadas nesta fase são: Benchmarking de Processo e Análise de Modo de Falha e Efeitos (FMEA).

Entradas: características das partes críticas (três ou quatro) com os valores meta e características controláveis do processo que podem afetar as características das partes críticas.

Saídas: características críticas do processo que deverão ser controladas e seus valores meta.

D. MATRIZ 4

Esta matriz é a de Planejamento da Produção e ela gera documentos que definem os requisitos mais importantes do processo ao operador, e é nela também que se decide como as características chaves do processo serão controladas.

O mais importante sobre esta matriz é que ela relaciona os pontos e parâmetros de verificação e controle, informando claramente ao operador quais são as partes envolvidas, quantas ele verificará, que ferramentas utilizará e como fará a checagem.

Entradas: operações de processo críticas com seus valores, determinados na fase anterior, e requisitos de produção.

Saídas: requisitos de produção críticos priorizados, que devem ser mantidos sob controle para que as operações de processo críticas também se mantenham sob controle.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------|--|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Andamento | grupo de produção | | | | | | | | | | | | | |
| | grupo de peças | | | | | | | | | | | | | |
| | peças | | | | | | | | | | | | | |
| Etapas de processo | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Parâmetros de processo críticos / importantes (da matriz de processos) | | | | | | | | | | | | | | |
| Valores dos parâmetros de processos críticos (da matriz de processos) | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacidade de processo | | | | | | | | | | | | | | |
| Importância | | | | | | | | | | | | | | |
| Características de trabalho e avaliação dos riscos | A | grau de dificuldade dos parâmetros de controle | | | | | | | | | | | | |
| | B | Frequência com que ocorrem os problemas esp. | | | | | | | | | | | | |
| | C | consequências dos problemas esperados | | | | | | | | | | | | |
| | D | probabilidade de ser descoberto | | | | | | | | | | | | |
| Valor total | Σ | soma do produto de A.B.C.D | | | | | | | | | | | | |
| Planejamento | manutenção do equipamento | | | | | | | | | | | | | |
| | peças de reposição | | | | | | | | | | | | | |
| | serviços controlados | | | | | | | | | | | | | |
| | testes | | | | | | | | | | | | | |
| | calibração e material p/testes | | | | | | | | | | | | | |
| | cartões de controle | | | | | | | | | | | | | |
| | treinamento | | | | | | | | | | | | | |
| Sistema de gerenciamento da qualidade | Instruções de processo | | | | | | | | | | | | | |
| | Instruções de fabricação | | | | | | | | | | | | | |
| Tempos | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Outros | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| QFD | | | Matriz de produção | | | | | | | | | | | |

Fig. 3.5 - Matriz de Planejamento da Produção. (STANGE e PEREIRA, 1995)

Uma observação importante é que nesta fase não é necessário que os dados sejam obtidos de uma matriz - pode tratar-se de cartas de planejamento do controle do processo, que visam desenvolver planos detalhados para checar e controlar as características chaves do processo e das partes.

E. MATRIZ 5

Esta fase é a de planejamento da Assistência Técnica e Garantia e tem por objetivo principal assegurar que o consumidor tenha uma adequada utilização e manutenção do produto, para explorar toda a capacidade do mesmo, no que diz respeito às suas partes chaves.

A partir das partes chaves do produto (subconjuntos ou mecanismos), encontrados na matriz de projeto do produto (2), definem-se as características de utilização e manutenção chaves para garantir uma eficaz utilização do produto.

As atividades de apoio que podem ser utilizadas nesta fase são: Análise do Modo de Falha e Efeito (FMEA), Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Afinidades, e outras.

Entradas: Características das Partes (itens de subconjuntos, mecanismos, conjuntos).

Saídas: Características de utilização e manutenção chaves.

defeituosos chegam ao consumidor e também reclamações do produto (tais como garantia) podem ocorrer, sendo um importante papel do departamento de Assistência Técnica e Garantia, assim como os distribuidores do produto, terem um forte serviço de atendimento às reclamações dos consumidores.

Essas informações serão muito úteis na confecção de uma nova "casa da qualidade" (matriz 1) e dos conseqüentes desdobramentos (matrizes 2,3,4 e 5), que podem ocorrer para uma redefinição do produto diante de novas necessidades dos consumidores e também são muito importantes para o serviço de garantia.

Com esta matriz, portanto, tem-se uma retroalimentação do próprio QFD, transformando-o num sistema em malha fechada semelhante ao conceito de empresa em malha fechada, apresentado em STANGE (1996).

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo mostrou-se, de uma maneira geral, o que é o QFD e o porquê da necessidade de este trabalho em adotar uma abordagem menos abrangente. As matrizes aqui apresentadas são propostas de matrizes, sendo que as mesmas podem ser alteradas de acordo com os objetivos da empresa/usuário.

O QFD apresenta todo o seu potencial quando utilizado como uma ferramenta para planejamento da qualidade. Além disso, tem como principal virtude, mostrar os itens que devem ser priorizados durante o planejamento e desenvolvimento de um produto, focalizando campos de aplicação para outras ferramentas de melhoria, tais como o método Taguchi, que é mostrado a seguir.

Outro aspecto, que se deve ressaltar no QFD é seu caráter multifuncional, integrando todas as partes da empresa envolvidas com o produto. E como este trabalho envolve principalmente empresas que não adotam o CQT, esta ferramenta pode ser viabilizadora da implantação do Controle da Qualidade Total nessas empresas. É que, empresas que trabalham nesta filosofia têm maior facilidade para implantação do QFD e aproveitarem melhor o seu potencial.

CAPÍTULO 4 - O MÉTODO TAGUCHI

4.1 INTRODUÇÃO

O método Taguchi pertence a uma classe de abordagens que assegura a qualidade através do projeto, neste caso através da identificação e controle de variáveis críticas (ou ruídos) que fazem ocorrer desvios na qualidade do produto e/ou processo.

De acordo com PHADKE (1989), se se dividir o ciclo de vida de um produto em duas partes principais: antes da venda e após a venda para o consumidor, todos os custos ocorridos antes da venda do produto são adicionados ao custo de fabricação por unidade, enquanto que todos os custos ocorridos após a venda são considerados juntamente como perda de qualidade. A Engenharia da Qualidade é concebida para reduzir estes dois custos e é, portanto, uma ciência interdisciplinar, envolvendo a engenharia de projeto, operações de fabricação e economia.

Neste capítulo discute-se o método Taguchi, dando ênfase à função perda e ao projeto por parâmetros.

4.2 VARIABILIDADE

Como viu-se no capítulo 2, durante o desenvolvimento de um produto, as necessidades do consumidor são traduzidas em termos funcionais e, então, em

características de desempenho ou de qualidade. Estas características são especificadas em valores ideais que proporcionam a máxima satisfação ao usuário.

Não se pode melhorar a qualidade de um produto sem que as características de qualidade do produto possam ser identificadas e mensuradas. Além disso, um programa de contínuo desenvolvimento depende de se conhecer os valores ideais destas características da qualidade. Cada característica da qualidade é uma variável. Seu valor pode ser diferente para cada diferente unidade de produto, e também pode mudar com o tempo em uma mesma peça. O objetivo de um programa de desenvolvimento contínuo da qualidade é reduzir a variação das características de qualidade de um produto em torno de seus valores desejáveis, KACKAR (1986).

A variabilidade é um elemento inerente dos sistemas (produtos e processos) e relevante em relação à qualidade. Por isto, é necessário encará-la como um problema desde os primeiros passos de desenvolvimento do produto.

A vivência faz com que as características de qualidade dos produtos, sejam especificadas em termos de níveis nominais e tolerâncias em torno destes níveis, tornando determinados valores alvos unicamente em termos de intervalos, uma prática difundida na indústria. Esta prática transmite uma idéia errônea de que um consumidor permanece igualmente satisfeito com todos os valores das características de qualidade, no intervalo da especificação, e então, subitamente torna-se descontente quando o valor da característica de qualidade se desvia do intervalo especificado.

Na verdade, o essencial na qualidade de um produto é o grau da variação de seu desempenho. Desse modo, quanto menor o desvio do desempenho do produto, de seu valor meta, melhor a sua qualidade.

Segundo TAGUCHI et al.(1990) e ROSS (1991), as fontes causadoras de variabilidade são chamadas de "fatores

de ruído", sendo o estudo destes fatores feito na seção 4.5.3 onde também se tratará da razão sinal-ruído.

4.3 A FUNÇÃO PERDA

O ponto essencial do Método Taguchi é sua definição do termo "qualidade" como a característica que evita perda para a sociedade depois que o produto é remetido ao consumidor. "Perda da qualidade é a perda financeira imposta à sociedade depois que um produto é enviado para ser comercializado", BARKER (1986).

Muitas companhias ainda usam, como medida do nível da qualidade, a porcentagem não-conforme. Produtos não-conformes, entretanto geralmente não são enviados. Somente produtos que são entregues causam problemas de qualidade aos consumidores. Por esta razão, uma perda causada pela não expedição de produtos não-conformes deve ser considerada como custo e não como perda da qualidade.

Segundo TAGUCHI et al. (1990), a perda da qualidade ocorre quando a característica funcional de um produto (designada por y) desvia-se do valor nominal (designado por m), não importando o tamanho do desvio. A figura abaixo mostra a relação simplificada entre perda da qualidade e o valor do desvio.

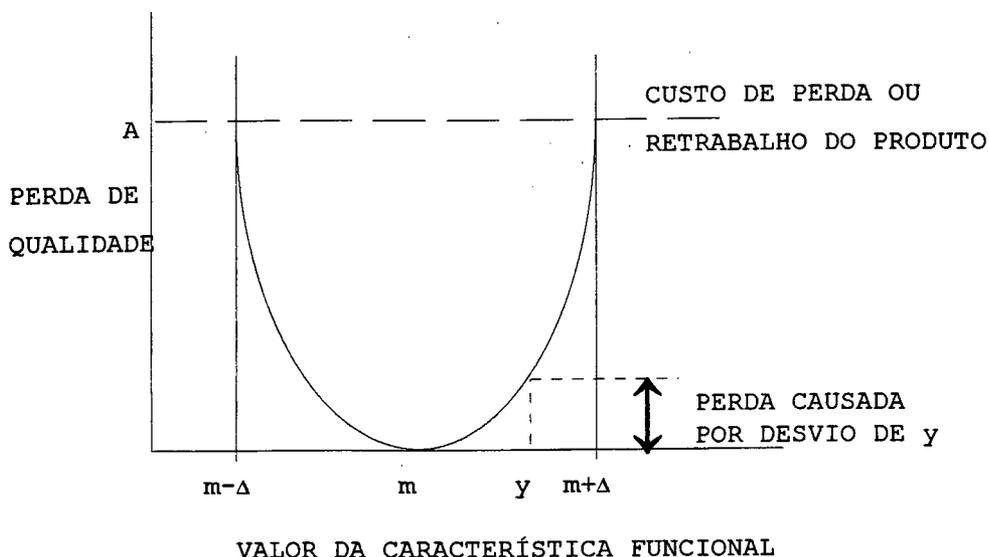


Fig.4.1 - Relação entre Perda da Qualidade e Desvio do Valor Nominal (m). (TAGUCHI, ELSAYED e HSIANG,1990)

Como mostra a figura, a perda da qualidade causada por desvio equivale a zero quando $y = m$; a perda aumenta quando o valor da característica funcional se desloca de m tanto para valores maiores quanto para menores. Quando o valor da característica funcional excede qualquer um dos limites $m + \Delta$ ou $m - \Delta$ (onde Δ é definido como tolerância), a perda na qualidade é igual ao custo de perda ou de fabricação do produto.

4.3.1 OBTENÇÃO DA FUNÇÃO PERDA

Suponha que a perda devida a um item não-conforme, por causa de sua inutilização, de conserto ou de reclassificação (segunda linha), seja A . Neste caso, designa-se a função perda por $L(y)$ e transforma-se a mesma numa série de Taylor, em torno do valor nominal m :

$$L(y) = L(m + y - m)$$

$$\text{ou } L(y) = L(m) + \left[\frac{L'(m)}{1!} \right] (y-m) + \left[\frac{L''(m)}{2!} \right] (y-m)^2 + \dots \quad (4.1)$$

Visto que $L(y) = 0$ quando $y = m$ (por definição, a perda da qualidade é zero quando $y = m$), e atinge-se o valor mínimo da função neste ponto (ver figura acima), sua primeira derivada com relação a m , $L'(m)$, é zero. Os dois primeiros termos da equação (4.1) são, então, iguais a zero. Quando se desprezam os termos de ordem superior a 2, a equação fica reduzida a

$$L(y) = \left[\frac{L''(m)}{2!} \right] (y-m)^2 \quad (4.2)$$

$$\text{ou } L(y) = k(y-m)^2 \quad (4.3)$$

onde k é uma constante de proporcionalidade desconhecida que se pode calcular por meio do conhecimento da $L(y)$ para algum valor de y . É normal obter-se a constante k pelo conhecimento das perdas causadas ao ultrapassarem-se as tolerâncias (custos ou perdas representadas pelo refugo ou reelaboração).

Uma das utilidades da função perda é a especificação ótima das tolerâncias. Quando y ultrapassa as tolerâncias, a perda do consumidor devida a um item não-conforme é, como dito anteriormente, de A unidades monetárias. Assim, substituindo y pelo intervalo $(m - \Delta)$ na equação (4.3), tem-se:

$$A = k(m - \Delta - m)^2 \quad (4.4)$$

de onde

$$k = \frac{A}{\Delta^2} \quad (4.5)$$

onde

Δ = desvio do valor nominal m

k = constante de proporcionalidade

A = perda.

4.4 TIPOS DE TOLERÂNCIAS

Utilizando o conceito da função perda avalia-se o nível da qualidade para os seguintes tipos de tolerâncias:

1. Nominal é melhor (tipo N)
2. Quanto menor melhor (tipo S)
3. Quanto maior melhor (tipo L)

4.4.1 NOMINAL É MELHOR

Exige-se este tipo de tolerância para muitos produtos, peças, elementos e componentes quando se prefere um tamanho (ou característica) nominal.

Se retornar mais uma vez à função perda, para a situação nominal é melhor, tem-se:

$$PERDA = k(y - m)^2 \quad (4.6)$$

A equação é constituída por três elementos: variância e posição relativa da média da característica de desempenho e o coeficiente de proporcionalidade k de uma série de produtos. Portanto, para se minimizar a perda para a sociedade, a característica do produto deve estar centralizada no valor nominal e a variância daquela característica precisa ser reduzida, pois o valor de k jamais será nulo.

4.4.2 QUANTO MENOR MELHOR (TIPO S)

Tolerância do tipo "quanto menor melhor" envolve uma característica não-negativa, cujo valor ideal é zero. Um exemplo típico de tal característica é a impureza. Desgaste, encolhimento, deterioração e nível de perturbação são também bons exemplos deste tipo.

Função perda para a característica menor é melhor é mostrada na figura (4.2). A constante de custo k pode-se calcular de modo similar à situação nominal é melhor. Existe determinada perda associada a um valor específico de y . A perda pode ser, então, calculada para qualquer valor de y baseando-se no valor de k . Esta função perda é idêntica à situação nominal é melhor com $m = 0$, que é o menor valor para a característica menor é melhor (sem valores negativos). E a equação é:

$$PERDA = k.(y)^2 \quad (4.7)$$

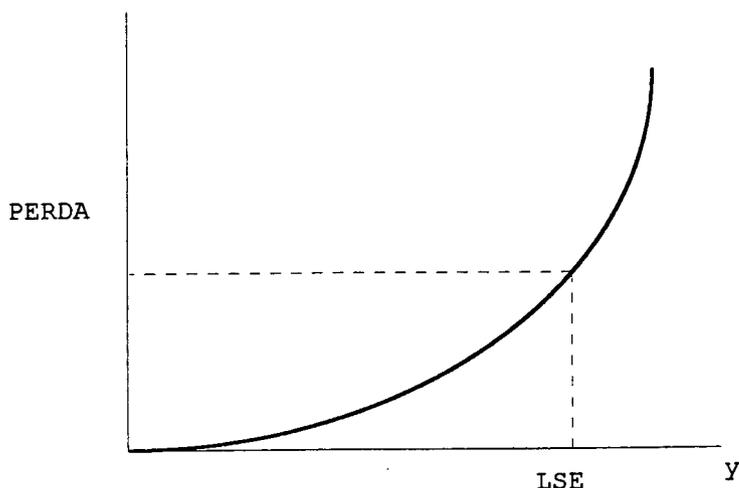


Fig. 4.2 - Função Perda Quanto Menor Melhor. (ROSS, 1991)

4.4.3 QUANTO MAIOR MELHOR (TIPO L)

Há casos onde o "quanto maior melhor" é aplicável a características tais como a resistência dos materiais e o rendimento de combustíveis. Nestes casos, não há valores nominais pré-determinados e quanto maior for o valor da característica, melhor será a qualidade do produto.

Novamente, pode-se calcular a constante de custo tomando-se como base determinada perda associada a um valor específico de y . E a equação é:

$$PERDA = \frac{1}{y^2} \quad (4.8)$$

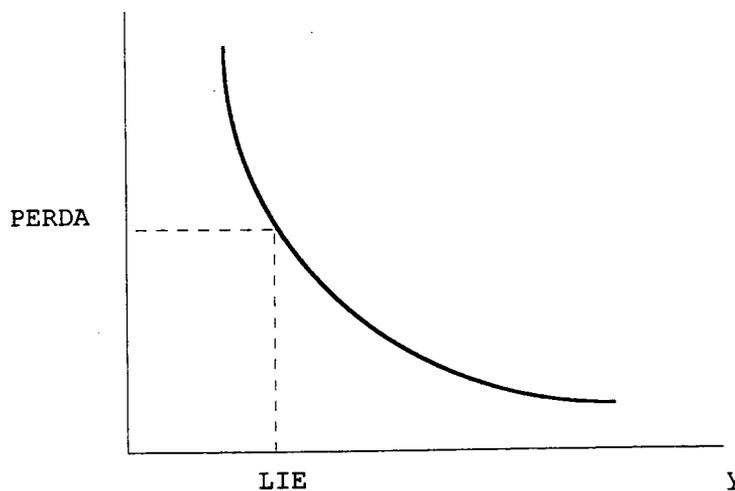


Fig.4.3 - Quanto Maior Melhor. (ROSS, 1991)

4.5 DESENVOLVENDO UM PRODUTO E/OU PROCESSO ROBUSTO

4.5.1 ETAPAS DO PROJETO

Segundo ROSS (1991), para se alcançar a robustez, esforços de controle de qualidade devem começar na fase de projeto de produto e continuar durante as fases de engenharia

de produção e fabricação. O autor considera também o projeto do produto ou processo como um programa de três etapas:

1. Projeto do Sistema
2. Projeto dos Parâmetros
3. Projeto das Tolerâncias

Primeiramente se fará uma breve descrição do que consiste cada etapa do projeto, e posteriormente se tratará do projeto por parâmetros mais detalhadamente, devido ao fato de nesta etapa do projeto se realizar atividades experimentais (físicas ou simuladas por computador) de forma a se verificar e a se reconhecer os efeitos dos parâmetros, sobre a característica de qualidade do produto.

O PROJETO DO SISTEMA

Esta etapa depende da fase em que está o produto no seu ciclo de vida. No projeto de produtos, o projeto do sistema denota desenvolvimento de um protótipo básico que desempenha as funções que se deseja e exige um produto com desvios mínimos dos valores nominais de desempenho. Isto inclui seleção de materiais, de peças, de componentes e do sistema de montagem.

O projeto do sistema em processos industriais determina o que se exige para executar uma certa etapa do trabalho de transformação parcial para outro estágio mais avançado. Durante os processos de fabricação, energia é adicionada aos itens em processo com o objetivo de modificar as formas, remover material das peças ou alterar as suas propriedades físicas e suas funções. Geralmente, existem muitos processos industriais que podem desempenhar a mesma função em cada processo.

O objetivo principal do projeto do sistema em processos industriais é determinar processos que possam fabricar o produto dentro dos limites e das tolerâncias especificadas, com o menor custo. Esta função, geralmente, é desempenhada pela produção e pela engenharia de processo industrial.

Em suma, o projetista ou a equipe de projeto examina uma variedade de concepções, arquiteturas e tecnologias para alcançar a função desejada do produto. Então, através de um processo de tomada de decisão de viabilidade, escolhe-se a concepção mais apropriada.

PROJETO DOS PARÂMETROS

Nesta etapa, níveis (valores) de fatores controláveis (parâmetros do projeto) são selecionados para minimizar os efeitos de fatores perturbadores nas características funcionais do produto, procurando não afetar os custos de manufatura. Ou seja, determinam-se os níveis dos diferentes parâmetros que dão ao produto as suas qualidades funcionais e que minimizam a perda de qualidade.

Em outras palavras, procura-se estabelecer os níveis dos parâmetros do produto de modo que a característica de qualidade deste torne-se insensível ou robusta às fontes de variação (fatores de ruído), mantendo o valor médio da resposta sobre o valor objetivo de maneira consistente.

De acordo com KACKAR (1985), uma técnica que minimiza a variação, reduzindo a sensibilidade de um projeto de engenharia em relação as fontes de variação, é chamada de projeto do parâmetro.

Uma utilização, também importante, do projeto do parâmetro é para se melhorar o desempenho de um produto em

serviço. O desempenho de um produto em serviço é afetado por variáveis ambientais, deterioração do produto e imperfeições de fabricação. Pode-se usar o projeto do parâmetro para fazer um projeto do produto robusto contra estas fontes de variação e, portanto, melhorar o seu desempenho em campo.

PROJETO DAS TOLERÂNCIAS

Aplica-se esta etapa se a redução na variação das características funcionais alcançada por meio do projeto de parâmetros for insuficiente. Especificam-se, então, tolerâncias reduzidas para desvios de parâmetros do projeto em relação aos níveis determinados no projeto dos mesmos.

No projeto das tolerâncias realiza-se um balanceamento criterioso entre a redução da perda de qualidade, devida à variação da característica de qualidade, e o aumento no custo de manufatura, isto é, a utilização de tolerâncias mais apertadas pode implicar em matéria prima e processo de manufatura mais caros.

Taguchi denomina a abordagem do controle de qualidade, na fase de projeto, como controle de qualidade *off-line*, onde o objetivo principal é melhorar a confiabilidade e a fabricabilidade do produto e reduzir custos durante todas as fases do ciclo de vida de um produto.

A próxima seção trata do projeto por parâmetros mais detalhadamente.

4.5.2 PROJETO DOS PARÂMETROS

Conforme visto no item anterior, é nesta etapa do projeto que são encontrados os valores ou níveis dos parâmetros do projeto de um produto ou de um processo de

manufatura, que reduzem a sensibilidade ao ruído. Para melhor entender esta importante etapa do projeto, na figura (4.4) mostra-se o diagrama dos parâmetros que representam a funcionalidade de um sistema, segundo PHADKE (1989).

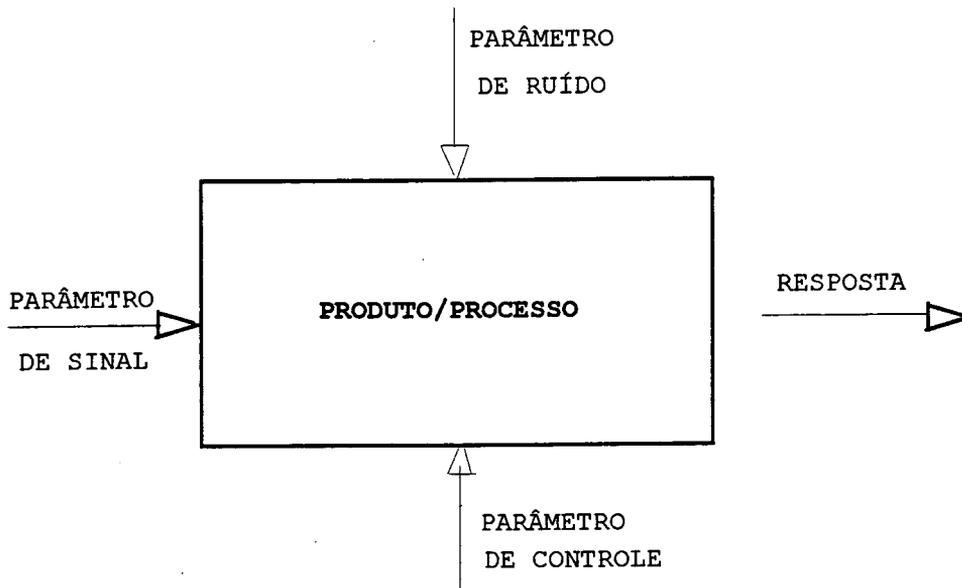


Fig. 4.4 - Diagrama dos Parâmetros (PHADKE, 1989)

A resposta do produto é denominada y . A resposta é o *output* do produto ou qualquer outra característica própria. Recorda-se que a resposta considerada para o propósito de otimização em um delineamento de experimento robusto é chamada de característica de qualidade.

Vários parâmetros podem influenciar a característica de qualidade ou resposta do produto. Estes parâmetros classificam-se dentro das seguintes três classes (note que a palavra parâmetro equivale à palavra fator na literatura de Projeto Robusto):

1. FATOR DE SINAL (M): este é o grupo de parâmetros para o usuário ou operador expressar o valor pretendido para a resposta do produto. Os fatores de sinal são selecionados pelo engenheiro de projeto baseado no conhecimento da engenharia do produto que está se desenvolvendo. Algumas

vezes dois ou mais fatores são usados combinados para expressar a resposta desejável.

2. FATORES DE RUÍDO (X): Certos parâmetros não podem ser controlados pelo projetista, estes parâmetros são chamados fatores de ruído. Parâmetros cuja situação é difícil de se controlar em campo, ou cujos níveis são caros para se controlar são também considerados fatores de ruído. Os níveis dos fatores de ruído mudam de uma unidade para a outra, de um meio ambiente para outro e ao longo do tempo. Podem ser conhecidas ou especificadas apenas as características estatísticas (tais como média e variância) dos fatores de ruído, mas não se pode conhecer o valor atual na situação específica. Os fatores de ruído causam a resposta desviada da meta especificada pelo fator de sinal M, levando à perda de qualidade.

3. FATORES DE CONTROLE (Z): Estes são parâmetros que o projetista pode especificar livremente. De fato, é responsabilidade do projetista determinar o melhor valor destes parâmetros. Cada fator de controle pode ter múltiplos valores, chamados níveis. Quando se muda os níveis de certos fatores de controle, o custo de fabricação não muda; contudo, quando se muda o nível dos outros, o custo de fabricação muda também. Os fatores de controle que afetam o custo de fabricação serão tratados como *fatores de tolerância*, e os outros fatores se chamarão simplesmente *fatores de controle*.

Identificar respostas importantes, fatores de sinal, fatores de ruído e fatores de controle em um projeto específico são questões importantes. Em um Delineamento de Projeto Robusto é também importante reconhecer quais fatores de controle mudam o custo de fabricação e quais não. A melhor situação, dos parâmetros que não afetam o custo de

fabricação, é determinada através do projeto do parâmetro. E a melhor situação dos outros fatores é determinada através do projeto da tolerância. (Algumas vezes os fatores de tolerância são também otimizados durante o projeto do parâmetro).

A seguir trata-se mais detalhadamente dos fatores de controle e de ruído, assim como da relação sinal/ruído, devido à importância dos mesmos para um projeto robusto.

4.5.3 RAZÃO SINAL-RUÍDO

A. PARÂMETROS DE CONTROLE E DE RUÍDO

Como visto no item anterior, conforme ROSS (1991), Taguchi distingue os parâmetros em dois grupos principais: parâmetros de controle e de ruído. Parâmetros de controle são aqueles estabelecidos pelo fabricante e que não podem ser diretamente modificados pelo consumidor. Parâmetros de ruído são aqueles sobre os quais o fabricante não possui controle direto, mas que variam de acordo com o ambiente e hábito do consumidor. Em geral, os fatores de ruído são aqueles para os quais o fabricante deseja não ter controle nenhum.

Parâmetros de ruído podem ser classificados em três categorias:

1. Ruído externo
2. Ruído interno
3. Ruído do produto

Ruídos externos são os dos fatores ambientais como temperatura ambiental, umidade, pressão ou pessoas. Até mesmo os diferentes lotes de materiais podem ser considerados como ruído externo num processo de produção. Ruídos externos estão

relacionados com a função e com o tempo, tais como deterioração, desgaste, desaparecimento gradual da cor, encolhimento e ressecamento. Ruídos externos provocam variações externamente ao produto; ruídos internos causam variação no interior do produto; o ruído do produto manifesta-se como variação de peça para peça. Produtos podem apresentar simultaneamente sensibilidade a todas as formas de ruído. A qualidade do projeto do produto ou processo resulta em menor variação funcional em decorrência de ruído externo ou interno. Qualidade da produção proporciona menor variação funcional de uma peça para outra e próxima ao valor nominal.

B. SINAL-RUÍDO

Os parâmetros de controle que contribuem na redução de variação (aperfeiçoamento da qualidade) podem ser rapidamente identificados observando o quanto de variação aparece como resposta. Taguchi idealizou uma transformação dos dados da repetição em outro valor, que representa a variação da medição existente. Designa-se a transformação como relação sinal-ruído (S/R). A relação S/R combina diversas repetições (exige-se, no mínimo, dois valores observados) em um valor que reflete o quanto de variação está presente.

A medida de desempenho S/R é derivada em função da natureza da resposta do sistema e do fator do sinal. Entende-se como resposta do sistema a característica de qualidade. A medida S/R depende basicamente do problema encontrado e de suas relações com as características de qualidade do produto, parâmetros de sinal e parâmetros de ajuste e escala.

Existem diversas relações S/R disponíveis, de acordo com o tipo de característica; menor é melhor, maior é melhor, ou nominal é melhor.

C. RELAÇÕES S/R

As equações para o cálculo das relações S/R para as características são:

1. Menor é melhor:

$$S/R = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4.9)$$

onde n = número de repetições num ensaio (número de repetições independente dos níveis de ruído)

2. Nominal é melhor

$$S/R = -10 \log V_e \quad (4.10)$$

$$S/R = 10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{nV_e} \right)$$

onde, na primeira fórmula inclui-se somente a variância e na segunda a média e a variância.

3. Maior é melhor

$$S/R = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (4.11)$$

As relações S/R para menor é melhor e maior é melhor são fáceis de se calcular; cada repetição está associada a uma equação. No entanto, a relação S/R para nominal é melhor necessita de uma explicação adicional. A relação contém V_e (variância do erro) e V_m (variância da média). Estes valores são determinados através da utilização da ANAVA (Análise de Variância) sem fator, em todas as repetições ocorridas em um ensaio. Ainda que o método da ANAVA sem fator não mostre possuir propósito real dentro da

discussão da análise, a relação S/R emprega este conceito de decomposição. (Maiores informações nas referências TAGUCHI (1988); ROSS (1991) e YUKIMURA (1991)).

4.5.4 ARRANJOS ORTOGONAIS

Na busca por projetos eficazes normalmente realizam-se determinados experimentos, observa-se o desempenho do produto e toma-se uma decisão quanto a se utilizar ou se rejeitar um novo projeto. É a qualidade desta decisão que se pode aperfeiçoar quando são utilizadas estratégias eficientes nos experimentos.

Não tendo em mãos estratégias de experimentos eficientes e adequadas, recorre-se a conceitos como avaliação do efeito de um parâmetro sobre o desempenho do produto, e se isto falhar, tende-se a experimentar outros fatores. Se ainda assim nada for conseguido, acontece a situação mais crítica, que consiste em se apegar a qualquer coisa, em desespero, e se alterar muitas outras, todas simultaneamente.

No primeiro caso citado acima, experimento com fator único, avalia-se o efeito de um parâmetro sobre o desempenho, enquanto se mantém o restante rigidamente constante. Se, porventura ocorrer interação do fator estudado com algum outro fator, não se poderá examinar a interação. Além disso, o experimento com fator único não utiliza os dados de modo efetivo.

No caso de diversos fatores isolados, a limitação principal reside no fato de não se poder observar a interação entre os fatores estudados. Além disso, esta estratégia utiliza os dados de ensaio de modo limitado ao avaliar os efeitos do fator.

Estudando-se diversos fatores simultaneamente torna-se impraticável a separação dos efeitos dos fatores

principais, sem considerar-se quaisquer efeitos de interação. Alguns fatores podem proporcionar contribuição positiva e outros contribuição negativa; porém, não se terá nenhuma informação sobre este fato.

Para se evitar uma ineficiente utilização dos dados de ensaio e uma situação não ortogonal, e também, estimar interações mantendo a ortogonalidade deve-se utilizar experimentos fatoriais saturados ou arranjos ortogonais específicos.

Se o experimento por fatorial saturado for utilizado há um mínimo de combinações possíveis (2^n) que devem ser ensaiadas (n = número de fatores cada um com dois níveis). No entanto, tempo e limitações financeiras impedem a utilização de experimentos fatoriais saturados. Para investigar de forma eficiente estes fatores de projeto, os estatísticos desenvolveram planejamentos mais eficientes, designados como frações de fatorial. Estes utilizam apenas uma parte de todas as combinações possíveis para estimar os efeitos principais do fator e alguns (não todos) efeitos das interações. Certas condições são selecionadas a fim de manter a ortogonalidade entre os diversos fatores e interações.

Taguchi utilizou um tipo de matriz especial (arranjo ortogonal) que se pode empregar em várias situações. O arranjo ortogonal permite que todos os graus de liberdade do erro possam ser trocados com graus de liberdade para fatores e proporcionem combinações específicas, que sejam compatíveis com este conceito. Quando se atribui um fator (diferente) a cada uma das colunas, designa-se isto como projeto saturado. O valor real da utilização do arranjo consiste na capacidade de se avaliar diversos fatores com um número mínimo de testes. Este experimento é considerado eficiente, visto que se adquire grande quantidade de informações proveniente de poucos ensaios.

Segundo ROSS (1991), os arranjos ortogonais se constituem numa invenção matemática, cujo o registro mais antigo data de 1897, por Jacques Hadamard, matemático francês. A utilidade destes arranjos ainda não havia sido explorada, até que na Segunda Guerra Mundial, Plackett e Burman, estatísticos ingleses, empregaram o conceito de projeto saturado. As matrizes de Hadamard são matematicamente idênticas às matrizes de Taguchi, onde colunas e linhas são rearrumadas. A atribuição de fatores a um fatorial saturado não é difícil; um fator é atribuído a cada coluna. No entanto, os experimentos que não sejam totalmente saturados podem se tornar mais complexos para serem projetados.

A. ARRANJO ORTOGONAL L_8

A figura 4.5 é chamada de arranjo de distribuição ortogonal L_8 (2^7) ou simplesmente de arranjo ortogonal L_8 .

| Col No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |

Fig. 4.5 - Arranjo Ortogonal L_8 (TAGUCHI, 1988)

O número à esquerda de cada fila é chamado de número do experimento ou número da distribuição, e vai de 1 a 8. Os alinhamentos verticais são chamados de colunas do

arranjo ortogonal, e todas as colunas contêm quatro vezes os numerais 1 e 2.

Quando cada uma das duas colunas consiste de numerais 1 e 2 e as quatro combinações (11), (12), (21) e (22) aparecem com a mesma freqüência, diz-se que estas duas colunas estão balanceadas ou são ortogonais. Selecionar-se quaisquer duas colunas entre as sete colunas do arranjo ortogonal e se contar o número de combinações de (11), (12), (21) e (22), descobre-se que todas são ortogonais.

Assume-se então que o número de fatores é, quando muito, sete e que cada um tem dois níveis para um arranjo ortogonal L_8 . Para estes sete fatores que são A, B, C, D, E, F, e G, correspondem as colunas de 1 a 7 do arranjo ortogonal L_8 e executam-se oito rodadas de experimentos sucessivamente.

B. OUTROS ARRANJOS ORTOGONAIS

Existem muitos arranjos ortogonais ao lado do arranjo ortogonal L_8 . Entre os arranjos ortogonais mais freqüentemente usados estão o L_9 , L_{16} , L_{27} e L_{32} . (ver Apêndice II)

Visto que a combinação dos numerais de quaisquer duas colunas são combinações de 1, 2 e 3 para arranjos de três níveis, existem nove pares ordenados. As nove combinações de duas colunas são (11), (12), (13), (21), (22), (23), (31), (32) e (33) aparecendo com a mesma freqüência. Duas colunas são ditas ortogonais ou balanceadas, tal como no caso de L_8 .

Existem várias críticas à eficiência dos arranjos ortogonais, considerados como experimentos fatoriais de

repetição fracionada altamente saturados. Em outras palavras, utiliza-se os arranjos experimentais para estudar vários fatores, ocupando todas as colunas da matriz por fatores individuais, de tal forma a interessar-se somente nos efeitos principais dos fatores e desprezar-se as interações entre eles. Sendo que o motivo desta crítica baseia-se em que para se usar as matrizes ortogonais, na maioria dos casos requer que todas as interações de dois fatores sejam consideradas nulas. Este problema é conhecido por confundimento, em outras palavras os feitos principais podem ser confundidos pelos efeitos de interação. A interação acontece entre dois fatores quando a mudança de nível de um fator influencia no comportamento dos efeitos do outro. Quanto maior é esta influência, maior é a interação entre eles.

Observando-se também que os já feitos arranjos ortogonais são para dois ou três níveis, pode ocorrer que apenas fatores de dois ou três níveis possam ser usados na experimentação. O fato é que estes arranjos ortogonais são raramente usados como são; é possível se executar complicadas distribuições de experimentos nas quais diferentes números de níveis existem juntos, utilizando-se de técnicas que facilitem a experimentação, como os gráficos lineares, TAGUCHI (1988).

Os gráficos lineares são propostos por Taguchi para vencer as críticas, eles propiciam meios para estipular e alocar os fatores dos quais se estudará as interações, através de informações gráficas.

Além disso, Taguchi propõe também o uso de um planejamento minucioso do experimento, a escolha criteriosa das características de qualidade a se estudar, o uso da transformação das variáveis pela razão sinal/ruído e a verificação experimental dos níveis ótimos encontrados.

4.4.5 GRÁFICOS LINEARES

Para melhor se compreender os gráficos lineares e suas aplicações, far-se-á a explicação através de uma aplicação dos mesmos, no arranjo ortogonal L_8 .

A. GRÁFICOS LINEARES DO ARRANJO ORTOGONAL L_8 E SUAS APLICAÇÕES

Dois gráficos lineares acompanham o arranjo ortogonal L_8 . Os dois gráficos da figura 4.6 apresentam as seguintes informações:

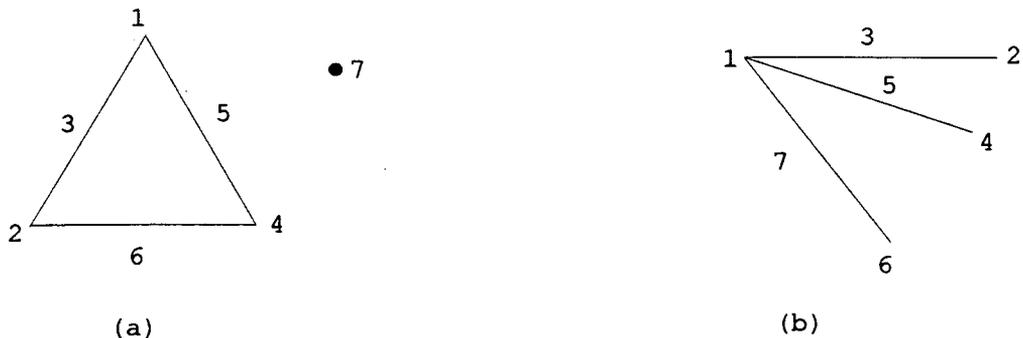


Fig. 4.6 - Gráficos Lineares do Arranjo Ortogonal L_8 .
(TAGUCHI, 1988)

a. Gráfico Linear (1). Este mostra que a coluna de interação entre a coluna 1 e a coluna 2 aparece na coluna 3, que a interação entre a coluna 2 e a coluna 4 aparece na coluna 6, e que a interação entre a coluna 1 e a coluna 4 aparece na coluna 5. A coluna 7 está desconectada do triângulo e mostra-se como um ponto independente. Se existem quatro fatores de dois níveis, eles são expressados como A, B, C e D. Quando eles são transferidos para o arranjo ortogonal L_8 , três colunas serão colocadas na esquerda. Neste caso, erros entre experimentos pode-se obter das três colunas extras. Contudo, a avaliação da reprodutibilidade dos principais efeitos ou,

em outras palavras, aditividade dos efeitos, vem a ser mais certo se em vez de vagamente buscar-se o erro, distribuir-se os dados, assim que se possa obter as interações entre fatores que se acredite ter um grande efeito e se comprove que estas interações são reduzidas. Portanto é melhor por de lado o fator D, cujo efeito se acredita ser o menor entre os quatros fatores A, B, C, e D, e faz-se suas distribuições assim que as interações entre os outros fatores possam ser construídas (encontradas). Se usar o gráfico linear e colocar-se:

A correspondendo à coluna 1

B correspondendo à coluna 2

C correspondendo à coluna 3

e se colocar D correspondendo à coluna 7, pode-se mostrar que se obtém a:

Interação A x B na coluna 3

Interação A x C na coluna 5

Interação B x C na coluna 6.

Portanto, a solução para o problema de distribuição, neste caso, pode-se obter simplesmente pelo uso do gráfico linear (1).

b. Gráfico Linear (2) - usa-se quando interações entre um fator específico e vários outros fatores são importantes. Por exemplo, suponha-se que existam dois tipos de matéria prima, A1 e A2, e dois métodos de tratamento térmico, B1 e B2. Então assume-se que para encontrar o melhor valor para temperatura e tempo deve selecionar-se dois níveis de cada um dos fatores: temperatura e tempo. Denominar-se-á estes C1, C2 e D1 e D2, respectivamente. Desde que o forno e o modo de operação diferem consideravelmente se B1 ou B2 é usado, pode-se predizer que a melhor condição de temperatura e de tempo também será diferente. Por outro lado, no caso de um bom material, pode-se assumir que o produto final será bom

sempre que um método de tratamento é usado; portanto o principal efeito basta para o material A. Então, neste caso, junto dos principais efeitos de A, B, C e D, necessita-se de duas interações B x C e B x D.

Para isso, necessita-se de um gráfico linear, tal como é mostrado na figura 4.7.

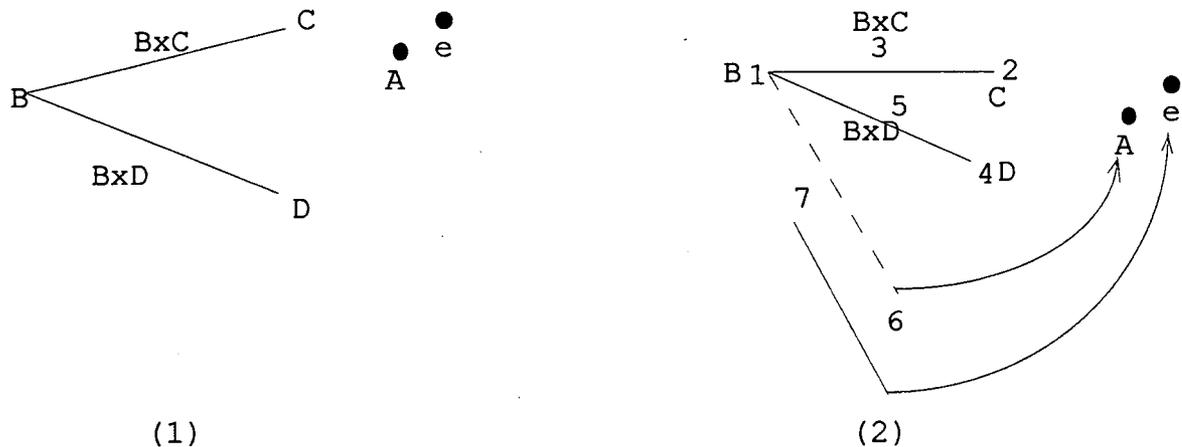


Fig. 4.7 - Gráficos Lineares. (TAGUCHI, 1988)

A distribuição requerida pode-se obter facilmente pelo gráfico linear (2). Usa-se apenas duas linhas entre as três linhas radiais do gráfico (2). Então, para um segmento extra, neste caso, (o qual conecta coluna 1 e coluna 6), separa-se as colunas 6 e 7, como mostrado na figura, e mostra-se os pontos independentes. Visto que os principais efeitos podem ser obtidos dos pontos independentes, permite-se ao fator A, do qual se deseja apenas o principal efeito, corresponder-se a um deles.

A mesma distribuição pode-se também obter do gráfico linear (1). Quando se usa o gráfico linear (1), separa-se o segmento que conecta a coluna 2 e a coluna 4 e deixa-se a coluna 6 correspondendo à A como um ponto independente igual à coluna 7.

B. OUTROS GRÁFICOS LINEARES

Mostra-se no Apêndice (II) Arranjos Ortogonais que são freqüentemente usados e seus gráficos lineares.

No caso de três níveis, interações entre duas colunas têm quatro graus de liberdade e ocupam duas colunas.

4.6 A EXPERIMENTAÇÃO E A ANÁLISE

Gasta-se um grande tempo de engenharia para se gerar informações de como diferentes parâmetros de projeto afetam o desempenho sob diferentes condições de uso. A metodologia do Delineamento Robusto permite ao engenheiro gerar as informações necessárias para tomar decisões com pouco esforço experimental.

Segundo PHADKE (1989), existem duas importantes questões para serem desenvolvidas no Delineamento Robusto:

1. Mensuramento da qualidade durante o projeto e desenvolvimento - necessita-se de um indicador principal de qualidade pelo qual pode-se avaliar o efeito de uma mudança em um parâmetro de projeto sobre o desempenho do produto.

2. Experimentação eficiente para encontrar informações confiáveis sobre os parâmetros de projeto - é crítico se obter informações confiáveis sobre os parâmetros de projeto tal que alterações no produto durante a fabricação e uso do consumidor possam ser impedidas. Também, deve-se obter a informação com o mínimo de tempo e recursos.

Os efeitos estimados dos parâmetros de projeto devem ser válidos mesmo quando outros parâmetros são alterados durante um posterior esforço de projeto, ou quando o projeto dos subsistemas relacionados mudam. Isto pode se realizar pelo emprego da razão sinal/ruído (S/N) para

mensurar a qualidade e pelos arranjos ortogonais para se estudar muitos parâmetros de projeto simultaneamente. Essas ferramentas já foram descritas anteriormente.

O projeto do parâmetro tem, como essencial, a possibilidade de se investigar a influência dos diferentes fatores de ruído sobre a resposta do sistema. À medida que são investigados os efeitos das fontes de variação e feitas as respectivas mudanças, o projeto do parâmetro torna o sistema (produto e/ou processo) robusto, por meio da escolha de parâmetros de controle que insensibilizem o sistema às fontes de variabilidade.

A seguir, mostra-se como se realiza o delineamento de experimentos pelo método Taguchi. Primeiro se mostrará como realizar o planejamento do experimento e, a seguir, será tratado das estimativas dos efeitos e análise da variância. O assunto é tratado por vários autores com pequenas alterações nos termos e/ou nas etapas a serem seguidas, sendo que, na essência, as propostas são iguais. Para maior aprofundamento no tema, recomenda-se as referências bibliográficas TAGUCHI (1988), ROSS (1991), PHADKE (1989), KACKAR (1985) e MONTGOMERY (1983).

4.6.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

Antes de se iniciar a experimentação, é importante estabelecer um planejamento da experimentação e fazer a identificação dos parâmetros, tais como: seleção dos parâmetros de controle e de ruído e/ou interações, características de qualidade, seleção de níveis para os parâmetros, a função principal do produto e/ou processo (sistema).

A determinação de quais parâmetros que serão investigados está subordinada às características de qualidade do produto ou processo, ou respostas de interesse. O consumidor que utiliza um produto espera ou necessita de alguma função deste produto. Se durante os estágios iniciais de desenvolvimento do produto esta função não é proporcionada, ou proporcionada de forma inconsistente, a característica de qualidade deverá ser aperfeiçoada. Diversos métodos são úteis na determinação de quais fatores se incluirão nos experimentos iniciais. Os principais são:

1. Brainstorming;
2. Fluxogramas (especialmente para processos);
3. Diagrama de causa-efeito.

É necessário que se especifiquem as características de qualidade quanto à forma como estas serão medidas durante a experimentação. Muitas vezes, os meios de medição convencionais utilizados nas empresas e laboratórios não se mostram apropriados para uma experimentação pelo método Taguchi, principalmente devido à questões de necessidade de aditividade ou superposição dos efeitos dos parâmetros a se investigar. Phadke e Taguchi apresentam algumas regras para alcançar aditividade por meio da escolha apropriada das características de qualidade, TAGUCHI (1988).

Uma outra etapa importante no planejamento do experimento é selecionar os níveis dos parâmetros. As etapas iniciais da experimentação podem envolver muitos parâmetros em poucos níveis; recomenda-se dois níveis para minimizar a dimensão inicial do experimento. Torna-se importante salientar também que o número de graus de liberdade para um parâmetro é o número de níveis menos um. Assim aumentar o número de níveis para um parâmetro, aumenta o total de graus de liberdade, que é função direta do número total de ensaios. A etapa inicial da experimentação eliminará muitos parâmetros da discussão e os poucos restantes poderão ser investigados com níveis múltiplos sem causar crescimento excessivo no

tamanho do experimento, que provocaria um aumento de custo e de tempo.

Faz-se a escolha dos níveis utilizando a experiência da equipe nas questões de projeto de engenharia. Chama-se a atenção para esta fase por ser ela muito particular, visto que depende do corpo técnico que pretende realizar a experimentação e é relevante que o trabalho seja realizado em equipe, YUKIMURA (1991).

Além dos parâmetros de controle, o projetista precisa identificar os parâmetros de ruído. Os parâmetros de ruído são escolhidos conforme a percepção do projetista sobre estes parâmetros incontrolláveis ou que se decidiu não controlar. Assim, são escolhidos e estabelecidos os parâmetros de ruído mais importantes e suas faixas, através da investigação do seu comportamento estatístico.

Para estudar os parâmetros de controle e de ruído Taguchi recomenda o uso de matrizes ortogonais. A seleção do arranjo ortogonal a ser utilizada depende do:

1. Número de parâmetros e interações de interesse;
2. Número de níveis para os parâmetros de interesse.

Estes dois itens determinam o total de graus de liberdade exigidos para todos os experimentos. Os graus de liberdade para cada parâmetro consistem no número de níveis menos 1.

$$v_A = k_A - 1, \quad (4.12)$$

onde, k_A é o número de níveis do parâmetro A.

O número de graus de liberdade para uma interação é o produto dos graus de liberdade dos parâmetros nessa interação.

$$v_{AxB} = (v_A) \cdot (v_B) \quad (4.13)$$

O mínimo de graus de liberdade exigidos em série de experimentos consistem na somatória de todos os graus de liberdade de parâmetro e interação.

O número na designação N do arranjo indica o número de ensaios contidos no mesmo; por exemplo, um L27 possui 27 ensaios. O número de graus de liberdade (v_{LN}) disponíveis num certo arranjo é equivalente ao número de ensaios menos 1.

$$v_{LN} = N - 1 \quad (4.14)$$

Quando se seleciona um arranjo específico para um experimento, deve-se satisfazer a seguinte desigualdade:

$$Vv_{LN} \geq v, \quad (4.15)$$

onde v é o mínimo de graus de liberdade exigidos para fatores e interações a serem considerados no experimento.

O número de níveis empregado nos fatores deve ser utilizado para selecionar tipos de arranjos com dois ou três níveis. Uma vez que se toma a decisão entre dois ou três níveis, conseqüentemente, o número de ensaios para aquele tipo de arranjo deverá fornecer o total de graus de liberdade adequados. Muitas vezes, os graus de liberdade exigidos vão ficar entre os graus de liberdade fornecidos por dois dos arranjos. Deve-se, então, selecionar-se o arranjo com maior grau de liberdade .

Um projeto de parâmetros completo é formado de duas matrizes experimentais chamadas, segundo KACKAR (1985), matrizes de projeto e de ruído (Taguchi denomina essas matrizes de interior e exterior, respectivamente).

As colunas da matriz de projeto representam os parâmetros de controle, em cima de cada coluna está representada a posição do teste do parâmetro de controle, e cada fila da matriz (também chamada de uma rodada de testes) representa um ensaio a ser feito. A coluna de uma matriz de ruído representa os parâmetros de ruído, e as filas da matriz representam diferentes combinações dos níveis dos parâmetros de ruído. Mostra-se na figura 4.8 um modelo de arranjo de um projeto de parâmetros experimental pelo método Taguchi, de

modo a exemplificar como se monta um arranjo de projeto de experimentos.

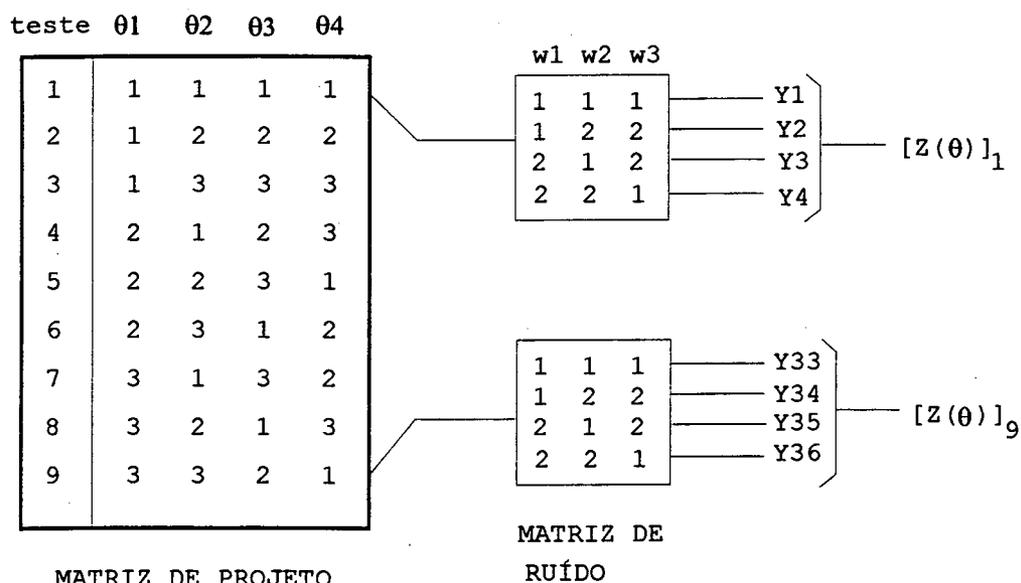


Fig. 4.8 - Planjamento Projeto de Parâmetros Experimental.
(KACKAR, 1985)

Se a matriz de projeto tem m linhas, e a matriz de ruído tem n linhas, o número total de linhas no combinado projeto do parâmetro experimental é $m \times n$. Para cada uma das m linhas da matriz de projeto, as n linhas da matriz de ruído dão n ou mais repetições de observações sobre o desempenho da característica. Os níveis dos parâmetros de ruído e a matriz de ruído são mudados assim que estas repetições de observações representem os efeitos de todos os níveis possíveis dos parâmetros de ruído.

As repetições de observações sobre o desempenho da característica de qualidade para cada rodada de teste na matriz do projeto são então usadas para computar um critério chamado *razão sinal/ruído*. Os m valores da razão sinal/ruído são associados com as m rodadas de testes na matriz de projeto e usados, então, para prever situações dos parâmetros de projeto que minimizam a expectativa de perda.

4.6.2 ESTIMATIVA DOS EFEITOS

A relação sinal/ruído estima o efeito do parâmetro de ruído na característica de qualidade (ver seção 4.3). Segundo KAKCAR (1985), uma eficiente relação sinal/ruído aproveita-se de um anterior conhecimento da engenharia sobre o produto, da função perda e da distribuição da característica de qualidade.

Tem-se $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ representando os parâmetros de projeto e $w = (w_1, w_2, \dots, w_i)$ representando os parâmetros de ruído incluídos no projeto do parâmetro experimental. Assume-se que a característica de qualidade Y é uma função de θ e w , isto é, $Y = f(\theta, w)$. Os parâmetros de projeto θ são os parâmetros da distribuição de Y , e para um dado θ os fatores de ruído geram a distribuição.

Tem-se

$$\eta(\theta) = E[Y] \text{ e} \tag{4.16}$$

$$\sigma^2(\theta) = E\{[Y - \eta(\theta)]^2\} \tag{4.17}$$

representando a média e a variância de Y , respectivamente. Com este modelo expectativas de perdas são função de θ .

Uma medida de desempenho é uma função de θ , selecionando-se assim que maximização da medida de desempenho, com possíveis ajustes de engenharia, minimiza a expectativa de perda. Usa-se, então, a medida de desempenho como um critério para comparar diferentes situações dos parâmetros de projeto. Uma eficiente medida de desempenho aproveita-se do conhecimento da engenharia sobre o produto e a função perda. Uma expectativa de perda é uma medida de desempenho, contudo, alguma vezes isto é mais complicado do que o necessário porque não se aproveita do conhecimento da

engenharia. Diferentes projetos de engenharia podem levar a diferentes medidas de desempenho, KACKAR (1985).

Taguchi definiu mais do que sessenta diferentes relações sinal/ruído (estimadas das medidas de desempenho) para aplicações de engenharia no parâmetro do projeto. Enquanto uma medida de desempenho é função de θ , em geral a função não é conhecida. Deve-se, portanto, estimá-la; e esta estimativa é usada como o critério a se otimizar. Taguchi usa o termo razão sinal/ruído para a estimativa estatística de uma medida de desempenho.

Conforme colocado na seção 4.3, a relação sinal/ruído de Taguchi pode ser escrita como segue:

Nominal é melhor:

$$S/R = -10 \log V_e \quad (4.10)$$

$$S/R = 10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{nV_e} \right)$$

Maior é melhor:

$$S/R = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (4.11)$$

Menor é melhor:

$$S/R = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (4.9)$$

É importante salientar que a decisão de qual situação, dentre as propostas acima, melhor se adapta ao caso em estudo, toma-se antes do início do experimento.

Com as medidas $Z(\theta)$ (ver figura 4.8) calculadas para cada teste da matriz de projeto, são calculados os efeitos principais dos parâmetros de controle. Antes disso, é importante que se calcule o fator de correção (FC) e a média geral (m), que são dados como segue:

$$FC = \sum_{i=1}^n Z(\theta)_i \quad (4.18)$$

$$m = 1/n \sum_{i=1}^n Z(\theta)_i \quad (4.19)$$

onde n = número de testes.

O efeito principal de um parâmetro define-se como a causa de desvio da média geral m . Como exemplo, utilizando a figura (4.8), se mostrará como se calcula o efeito do fator θ 1 no nível 1. O parâmetro θ_1 no nível 1 encontra-se nos testes 1, 2, e 3 da matriz de projeto. A média será dada por:

$$m(A_3) = 1/3 [Z(\theta_1)_1 + Z(\theta_1)_2 + Z(\theta_1)_3] \quad (4.20)$$

Deste modo o efeito do parâmetro θ_1 no nível 1 é dado por $(m(A_3) - m)$.

Como já mencionado anteriormente, o principal propósito do método Taguchi é otimizar os parâmetros de projeto do produto e/ou processo, isto é, determina-se os níveis dos fatores que maximizam a razão sinal/ruído na região experimental, de modo a diminuir a sensibilidade do produto e/ou processo aos ruídos. Desse modo, podem-se usar como níveis ótimos de projeto os efeitos principais estimados, e, para ter-se uma melhor referência para o processo de escolha dos níveis ótimos, os efeitos calculados pode-se plotar num gráfico.

Conforme ROSS (1991), calculam-se os efeitos dos parâmetros para classificar os parâmetros de controle conforme quatro classes:

Classe I: Parâmetros que influenciam a média e a variação.

Classe II: Parâmetros que influenciam somente a variação.

Classe III: Parâmetros que influenciam somente a média.

Classe IV: Parâmetros sem influência.

A estratégia do projeto por parâmetros consiste em selecionar os níveis apropriados das classes I e II para reduzir a variação da classe III para ajustar a média ao

valor nominal. A classe IV pode ser estabelecida dentro do nível mais econômico, já que nem a média nem a variação sofrem influência.

4.6.3 ANÁLISE DA VARIÂNCIA

Como a variação abrange grande parte da discussão referente à qualidade, o método estatístico a se utilizar para interpretar dados experimentais e tomar decisões necessárias será o da análise da variância (ANAVA). ANAVA é uma ferramenta de decisão estatisticamente formulada para detectar quaisquer diferenças no desempenho médio da série de testes. A decisão, longe de considerar somente o julgamento, leva em consideração a variação, ROSS (1991).

A análise da variância consiste em uma técnica matemática que decompõe origens que justificam a variação total, isto é a variação total é decomposta em seus componentes apropriados.

Obtém-se a variabilidade total dos dados pela soma dos quadrados dos desvios do valor médio. Estima-se, assim, a contribuição de cada parâmetro e do residual com relação à variabilidade.

$$SQT = \sum [Z(\theta)_i - m]^2 \quad \text{ou} \quad (4.21)$$

$$SQT = [\sum Z(\theta)_i]^2 - (FC)^2/n \quad (4.22)$$

A variação ocorrida devido a cada parâmetro calcula-se, mais usualmente, para qualquer número de níveis do parâmetro por:

$$SQP = [\sum (P_i^2)] - FC^2/n \quad (4.23)$$

onde, P= parâmetro em estudo

Supondo que (A x B)_i representa a somatória de dados sob a i-ésima condição das combinações de parâmetros A

e B; considerando-se também c o número de combinações possíveis dos parâmetros que interagem e $n(A \times B)_i$ o número de valores observados sobre esta condição, tem-se, para calcular a variação devida à interação dos supostos parâmetros A e B, utilizado com maior frequência, a seguinte fórmula:

$$SQ_{A \times B} = \sum [(A \times B)_i / n(A \times B)_i] - FC^2/n - SQA - SQB \quad (4.27)$$

Segundo ROSS (1991), o modo mais fácil para se calcular a variação do erro, é utilizando a técnica lenta. Qualquer variação usada para considerações futuras, além da que é justificável, consiste em erro, onde

$$SQT = [SQ_{P1} + SQ_{P2} + \dots + SQ_{Pi}] + [SQ_{(P1 \times P2)} + \dots + SQ_{(Pi \times Pj)}] + SQ_e \quad (4.28)$$

logo,

$$SQ_e = SQT + [SQ_{P1} + \dots + SQ_{Pi}] + [SQ_{(P1 \times P2)} + \dots + SQ_{(Pi \times Pj)}] \quad (4.29)$$

SQ_e - Soma Quadrática do Erro

$SQ_{(Pi \times Pj)}$ - Soma Quadrática das Interações

SQ_{Pi} - Soma Quadrática dos Parâmetros

A. GRAUS DE LIBERDADE

Calculam-se os graus de liberdade da seguinte forma:

$$v_T = n - 1 \quad (4.30)$$

igualmente

$$v_T = [v_{P1} + \dots + v_{Pi}] + [v_{(P1 \times P2)} + \dots + v_{(Pi \times Pj)}] + v_e \quad (4.31)$$

onde, v_{Pi} é o grau de liberdade dos parâmetros:

$$v_{Pi} = k_{Pi} - 1; \quad (4.32)$$

k_{Pi} = número de níveis do parâmetro.

Graus de liberdade das interações (Pi x Pj):

$$v_{(P_i \times P_j)} = (v_{P_i}) \times (v_{P_j}) \quad (4.33)$$

Graus de liberdade do erro:

$$v_e = v_T - v_{P_i} - v_{(P_i \times P_j)} \quad (4.34)$$

B. VARIÂNCIA

A variância (V) será encontrada dividindo-se a soma dos quadrados (SQ) pelos graus de liberdade, conforme cada caso. Então tem-se:

$$V_T = SQ_T / v_T; \quad (4.35)$$

$$V_{P_i} = SQ_{P_i} / v_{P_i}; \quad (4.36)$$

$$V(P_i \times P_j) = SQ(P_i \times P_j) / v(P_i \times P_j); \quad (4.37)$$

$$V_e = SQ_e / v_e \quad (4.38)$$

C. TESTE F PARA COMPARAÇÃO DE VARIÂNCIAS

Estatisticamente, existe uma ferramenta que proporciona uma decisão com um certo nível de confiança quanto ao fato de estas estimativas serem significativamente diferentes. Esta ferramenta é chamada de teste F. O teste F consiste simplesmente na razão de variância de amostras:

$$F_{P_i} = V_{P_i} / V_e, \text{ e} \quad (4.39)$$

$$F(P_i \times P_j) = V(P_i \times P_j) / V_e \quad (4.40)$$

A interpretação dos resultados da ANAVA se apresenta inicialmente em duas categorias:

1. Parâmetros que possuem razão F superior a determinado valor crítico.

2. Parâmetros que possuem razão F inferior a determinado valor crítico.

OBSERVAÇÃO: Os valores críticos encontram-se nas tabelas da razão F, no Apêndice II.

Acredita-se que os parâmetros que possuam razão F maior que a crítica (razão F das Tabelas) exerçam influência sobre o valor da média, e fatores que possuam razão F menor que a crítica não causem efeito algum sobre a média.

Na tabela abaixo é mostrado um resumo da ANAVA, que constitui as técnicas analíticas básicas utilizadas. Para melhor compreender, supõe-se que a tabela 4.1 se refere a um experimento com apenas dois parâmetros:

| FONTE | SOMA QUADRADOS | GRAUS LIBERDADE | V VARIÂNCIA | F |
|-------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|
| A | SQA | v_A | SQA/v_A | VA/Ve |
| B | SQB | v_B | SQB/v_B | VB/Ve |
| A x B | SQA x B | $v_{(AxB)}$ | $SQAxB/v_{(AxB)}$ | $VA \times B/Ve$ |
| e | SQe | v_e | SQe/v_e | |
| T | SQT | v_T | SQT/v_T | |

Tabela 4.1 - Resumo da Análise de Variância

Um aspecto importante que se precisa considerar é o experimento de confirmação. O experimento de confirmação constitui a etapa final da análise de conclusões adquiridas em etapas anteriores do experimento. Condições ótimas são estabelecidas para fatores e níveis significativos, e diversos ensaios são realizados sob condições constantes. A média dos resultados do experimento de confirmação compara-se à média estimada, baseada nos fatores e níveis ensaiados. O experimento de confirmação representa a etapa decisiva, e não deve ser omitido.

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método Taguchi é uma ferramenta da Engenharia da Qualidade que apresenta resultados a curto prazo. Visualiza-se rapidamente o benefício através do cálculo da perda. O Delineamento de Experimentos, utilizado no projeto do parâmetro, não chega a ser uma novidade. A grande contribuição de Taguchi é a Função Perda.

Na aplicação do método Taguchi deve-se sempre calcular a perda que será imposta à sociedade no caso de se produzir fora da especificação e, obviamente, se após a utilização do método a perda se mantiver ou não sofrer reduções significativas, não houve nenhum sentido na aplicação do método.

CAPÍTULO 5 - UM SISTEMA DE QUALIDADE PARA FÁBRICAS MONTADORAS

5.1 INTRODUÇÃO

O QFD e o Método Taguchi podem ser aplicados em conjunto para o processo de melhoria, pois são, em essência, complementares.

No ambiente competitivo vivido atualmente pelas empresas, os clientes desejam produtos com valores agregados sempre mais altos e consistentes no seu desempenho. A abordagem de Taguchi ligada ao desenvolvimento do produto e dos processos pode ajudar no aumento da consistência do desempenho do produto. O QFD é uma tática poderosa e aceitável para assegurar que as necessidades dos clientes serão ouvidas e levadas ao produto. As diferentes relações entre as necessidades dos clientes e as características de qualidade, as características das partes, os processos e as necessidades de produção ajudam na transmissão da voz do cliente através do ambiente dos negócios. E num estágio ainda mais avançado ajuda a mostrar ao cliente como utilizar o produto concebido a partir de suas necessidades, proporcionando, ainda, o retorno das informações do mercado para o ambiente de negócios novamente, relatando o impacto causado pelo produto no mesmo.

De acordo com LOPES (1991), o QFD é freqüentemente usado em conjunto com o Método Taguchi, no Japão. O QFD tem como função identificar as relações existentes entre as entradas e as saídas. Muitas questões podem ser levantadas durante o processo de QFD, tais como: "Qual é a força da inter-relação?" ou "Qual o melhor valor alvo para dada característica ou parâmetro de processo?". O método Taguchi define a natureza das inter-relações e procura otimizar as entradas conflitantes.

5.2 O SISTEMA PROPOSTO

Dentro do que foi visto até agora em termos de objetivos, problema e ferramentas a serem aplicadas na solução do problema, mostra-se agora um plano sistemático para resolver o problema.

As principais ferramentas utilizadas neste sistema, colocadas em um mesmo nível de importância, são o **Desdobramento da Função Qualidade e o Método Taguchi**.

No Desdobramento da Função Qualidade (QFD), conforme mostrou-se no capítulo três, optou-se por utilizar a abordagem de quatro fases, com a proposta de mais uma fase (assistência técnica). Conforme MARTORANO (1993), uma abordagem abrangente como a de Akao e Bob King fica aparentemente inviável dentro de uma empresa que ainda não adota o controle total da qualidade.

Sendo que a proposta do trabalho é aplicar QFD mesmo em empresas que ainda não adotam o controle da qualidade total (fábricas montadoras nacionais), optou-se por esta abordagem menos ampla, que no caso é útil como uma ferramenta de projeto e desenvolvimento de produtos e serve como um guia para o projeto das etapas posteriores. Porém se a empresa já adotar o TQC, terá também bom proveito com a utilização do sistema aqui proposto.

Tem-se observado uma tendência de se usar a abordagem de quatro fases como um guia para o trabalho de QFD, e incorporar às mesmas matrizes auxiliares e ferramentas, conforme o objetivo do trabalho, MARTORANO (1993).

No Método Taguchi, conforme mostrou-se no capítulo quatro, fez-se uso do controle de qualidade **off-line** (fora da linha), dando-se maior ênfase ao projeto do parâmetro para, através de informações priorizadas, levando em conta as necessidades dos consumidores, nas matrizes descritivas do Desdobramento da Função Qualidade, alcançar a robustez do

produto e/ou processo pelo Delineamento de Experimentos Robusto.

O Método Taguchi é utilizado como um complemento ao trabalho de QFD, para alcançar o melhor desempenho possível do produto em uso e reduzir a variabilidade do processo, reduzindo a perda imposta à sociedade assim que o produto é colocado no mercado. O método ainda proporciona a possibilidade de, em algumas etapas do trabalho, calcular-se a perda pela fabricação de peças, mon tagens ou produtos não-conformes ou desviada(o)s do valor nominal.

A seguir descreve-se o sistema gerencial proposto com todas as suas etapas, colocando-se exemplos simulados ou encontrados na bibliografia. Assim tem-se, como principal objetivo, facilitar a utilização do sistema, assim como, apresentar o mesmo de uma forma didática.

Está explicado nos capítulos três e quatro do que se trata mais especificamente cada etapa do sistema. A seguir tratar-se-á mais das recomendações e propostas de utilização para o caso específico de fábricas montadoras.

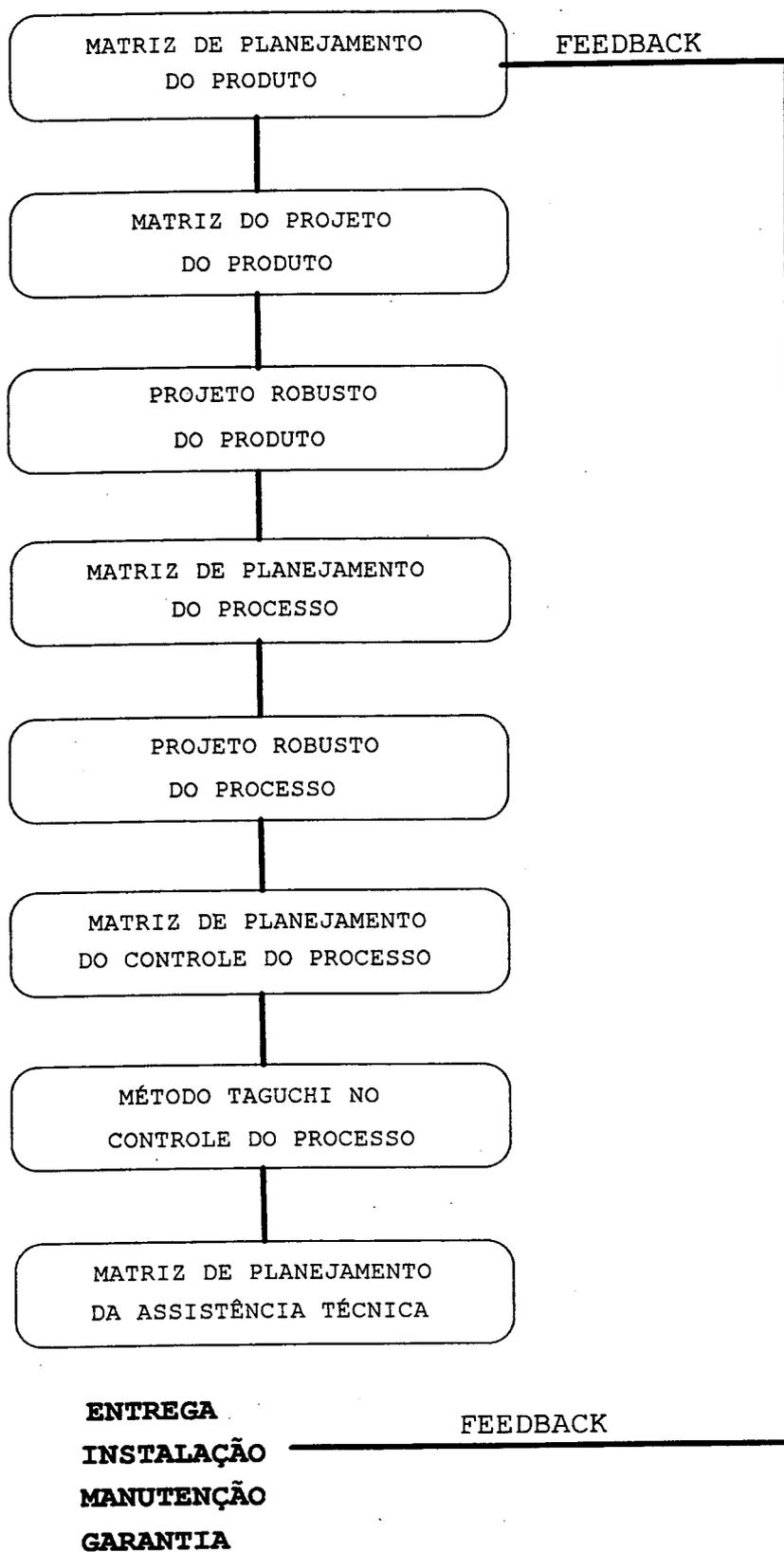
SEGMENTOS**CONSUMIDOR****COMUNICAÇÃO - VOZ DO CONSUMIDOR**

Fig. 5.1 - Sistema Proposto

Antes de se iniciar a aplicação do sistema torna-se importante ressaltar, principalmente para a execução das matrizes do QFD, que deve ser realizado um planejamento do trabalho onde a gerência define qual a equipe interdepartamental (sugere-se de 6 a 8 membros), o produto a ser trabalhado e o objetivo do trabalho. Ver KING (1987).

Posteriormente a equipe deverá discutir a metodologia e, de acordo com o objetivo do trabalho, definir legendas, convenções, estrutura básica das matrizes, e outros, para só então se iniciar o trabalho.

5.2.1 ETAPA 1 - MATRIZ DE PLANEJAMENTO DO PRODUTO

É a mais popular e importante matriz de QFD. Como mencionado no capítulo três, traça-se na matriz o que o consumidor quer e como a empresa atenderá estas necessidades.

É uma etapa crítica, pois além de ser nesta fase que se fará a tradução das necessidades dos consumidores (abstratas) em requisitos técnicos (mensuráveis), também será onde a equipe terá o primeiro contato com a metodologia QFD.

É principalmente desta etapa, que depende uma bem sucedida execução do sistema. As necessidades do consumidor deverão ser obtidas e trabalhadas eficazmente para se obter informações confiáveis.

Sugere KING (1989) que para retirada das necessidades dos consumidores utilizarem-se ferramentas, tais como: Matriz de Análise de Dados, Investigação Estruturada do Consumidor e Análise e Segmentação da Opinião do Consumidor, e outras fontes de informações, tais como: necessidades como as expressas em jornais de negócios, reclamações de garantias ou queixas dos consumidores, análise de falhas, entrevistas face a face,

utilização pelo consumidor do produto exposto. Especialistas de diversas áreas da organização podem também participar de reuniões com consumidores para obterem necessidades que passaram despercebidas.

No tratamento das informações (necessidades) colhidas, que é feito pela equipe de QFD, pode se fazer uso de diversas técnicas e procedimentos. Sugere (AKAO, 1990) uma maneira de converter informações dadas pelos usuários do produto em informações que podem ser usadas na matriz, seguindo os seguintes passos:

1. Converter as verbalizações do consumidor (nas próprias palavras do consumidor) em "dados re-escritos", simples e limitadas expressões com um único significado.

2. Agrupar os dados re-escritos e atribuir-lhes um título, que mais amplamente descreva tais dados. Escrever estes em um cartão.

3. Usar estes títulos descritivos como terceiro nível de detalhes, agrupando-os dentro de categorias similares e distribuindo títulos descritivos dentro do primeiro e segundo nível, método KJ.

4. Esclarecer qual é o primeiro nível de detalhe da qualidade demandada. Ajustar e adicionar segundo e terceiro nível de detalhes, se necessário, para a qualidade demandada.

5. Distribuir números de classificação e organizá-los dentro da matriz.

Para se organizar e colocar os requisitos dos consumidores em diferentes níveis, KING (1989) indica a utilização do diagrama de afinidades e do diagrama árvore. Ainda, MARTORANO (1993), sugere o uso da análise lingüística para se esmiuçar as necessidades dos consumidores, rescrevendo-as de maneira mais clara. Se isto não for possível, relaciona-se a necessidade dentro de uma das categorias, que são:

1. Falha.
2. Relacionada com o desempenho.
3. Relacionada com a melhoria do desempenho.

4. Inovação.

Após as palavras dos consumidores terem sido identificadas e relacionadas, a questão **O que realmente significa?**, ajuda a identificar a necessidade.

Para se obterem os requisitos técnicos (ou elementos de qualidade), AKAO (1990) propõe os seguintes passos, semelhantes aos de obtenção dos requisitos do consumidor (ou necessidades):

1. Extrair e listar os requisitos técnicos para cada requisito do consumidor.

2. Escrever cada requisito técnico em um cartão.

3. Usar estes como aproximadamente terceiro nível de detalhes, e agrupá-los em categorias similares. Sugere-se usar o diagrama de afinidades (método KJ) para agrupar dentro do primeiro e segundo nível e atribuir-lhes títulos descritivos. (veja exemplo 1)

4. Rearranjar do primeiro para o segundo e o terceiro nível de detalhes, adicionando itens quando necessário.

5. Usar o terceiro nível de detalhes como as características de qualidade. Certificar-se de que eles são características de qualidade mensuráveis.

Os itens que constituem a matriz de planejamento do produto, assim como propostas de convenções, símbolos e escala de valores para a confecção da mesma, estão apresentados no capítulo três (seção 3.2.3), na seqüência em que deverá ser realizado o trabalho .

Cabe ressaltar que os itens que constituem tanto as linhas como as colunas da matriz podem ser eliminados, ou ainda ser acrescentado algum outro de interesse, conforme o objetivo do trabalho. Obviamente, os requisitos dos consumidores, requisitos técnicos e respectivas importâncias não podem ser excluídos.

Pode-se levar em consideração a mesma prática para as outras matrizes descritivas, respeitando os respectivos elementos de entrada.

A. EXEMPLO DA MATRIZ DE PLANEJAMENTO DO PRODUTO

Neste exemplo, mostra-se de forma simulada como foi construída a matriz de planejamento do produto, utilizando-se como produto-exemplo um retroprojektor de transparências. Admite-se a situação que o produto já existe no mercado, entretanto deseja-se adequá-lo às necessidades do consumidor para, com isso, incrementar as vendas. O exemplo retirou-se da referência bibliográfica RICCI, A. Z. et al. (1993).

A maneira de como proceder em cada passo foi descrita anteriormente. Mostra-se aqui apenas alguns detalhes na execução do exemplo.

PASSO 1 - Necessidades do consumidor

Listaram-se primeiro algumas necessidades, tais como:

- baixo aquecimento do aparelho;
- baixo nível de ruído;
- baixo peso;
- facilidade ao pegar;
- forma agradável, e outras.

Tais necessidades foram agrupadas, em seguida, em pacotes que representam um conceito amplo do consumidor. Por exemplo baixo peso, facilidade ao pegar e pouco aquecimento, que formam o conceito fácil transporte, e assim por diante.

| | | | |
|--|--------|-----------------|---|
| U s o t r a r e n s | Operar | baixo aquecimen | 4 |
| | | baixo ruído | 4 |
| | | foco homogêneo | 5 |
| | | ajuste foco | 3 |
| | | boa ampliação | 5 |
| | | contraste | 4 |
| | | baixo peso | 4 |
| | | fácil de pegar | 3 |
| | | pouco aquecido | 3 |
| | | | |
| S e r v i ç o | Manter | evitar queimad. | 4 |
| | | evitar lesões | 3 |
| A p a r e l h o | Forma | cor agradável | 1 |
| | | forma agradável | 2 |
| | | | |

GRAU DE RELACIONAMENTO

⊙ FORTE (5)

○ MÉDIO (3)

△ FRACO (1)

Fig. 5.2 - Requisitos dos Consumidores

PASSO 2- Requisitos Técnicos

Transformaram-se as necessidades dos consumidores em linguagem de engenharia, isto é, em requisitos técnicos que são possíveis de serem medidos por algum tipo de sensor.

Nesta etapa, a equipe multifuncional pode, eventualmente, distorcer ou mascarar as necessidades dos consumidores. Deve-se então fazer uma análise sistemática e paciente para cada requisito técnico.

O sinal positivo ou negativo, na frente de cada requisito técnico, representa o que se espera do requisito. Por exemplo, o sinal (-) do requisito "Peso Limitado" reflete o desejo de redução do peso do aparelho.

| | limpeza | preço | conforto | durabilidade | segurança | estética | portabilidade | flexibilidade | acessibilidade | inovação | serviço | reputação | recomendações |
|-----------|-------------------|-------|----------|--------------|-----------|----------|---------------|---------------|----------------|----------|---------|-----------|---------------|
| uso | baixo aquecimento | 4 | | | | | | | | | | | |
| | baixo ruído | 4 | | | | | | | | | | | |
| | foco homogêneo | 5 | | | | | | | | | | | |
| | ajuste foco | 3 | | | | | | | | | | | |
| | boa ampliação | 5 | | | | | | | | | | | |
| | contraste | 4 | | | | | | | | | | | |
| | baixo peso | 4 | | | | | | | | | | | |
| | fácil de pegar | 3 | | | | | | | | | | | |
| | pouco aquecido | 3 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| segurança | evitar queimad. | 4 | | | | | | | | | | | |
| | evitar lesões | 3 | | | | | | | | | | | |
| aparência | cor agradável | 1 | | | | | | | | | | | |
| | forma agradável | 2 | | | | | | | | | | | |

Fig. 5.3 - Requisitos Técnicos

PASSO 3 - RELACIONAMENTOS ENTRE NCs e RTs

A equipe multifuncional deve agora preencher o corpo da Casa da Qualidade, a "matriz de relacionamento", indicando de forma qualitativa como cada requisito técnico afeta cada necessidade do consumidor. Estas avaliações devem ser executadas sempre buscando o consenso da equipe, baseando-se em bom senso, experiência e dados estatísticos e/ou históricos.

PASSO 4 - VALOR DO CONSUMIDOR

Nesta etapa traz-se novamente a voz do consumidor para a etapa de projeto, no sentido de identificar o valor de importância de cada necessidade do consumidor. Neste exemplo, adotaram-se valores entre 5 e 1 (5=máximo; 1=mínimo).

PASSO 5 - ANÁLISE DE MERCADO

preferencialmente, afetar de maneira direta a percepção do consumidor. Por exemplo, o item "peso do retroprojektor", onde a espessura da chapa que o envolve afeta o peso, sem contudo ser de fácil percepção pelo consumidor. A idéia é manter a equipe multifuncional ligada, de modo contínuo, aos requisitos que possam ser percebidos pelo consumidor.

A equipe multifuncional deverá, em muitos casos, se necessário, criar características mensuráveis para cada requisito técnico. Por exemplo, mede-se o requisito "conjunto de lentes adequado", através da porcentagem da região da tela com foco ruim em relação ao total da tela.

PASSO 7 - TELHADO DA CASA DA QUALIDADE

O telhado da casa da qualidade é a matriz que interrelaciona todos os requisitos técnicos, identificando seus graus de dependência. É uma maneira de visualizar como uma mudança em uma característica do produto influencia em outra. Esta relação pode ser positiva ou negativa como, por exemplo, a diminuição do peso do retroprojektor tem uma relação fracamente negativa com o nível de ruído aceitável, pois sabe-se que quanto menor a massa do aparelho, maior a intensidade do seu ruído.

PASSO 8 - VALOR DE IMPORTÂNCIA DOS RTs

Valor de importância = \sum valor consum. x grau relac.

Por exemplo, o valor de importância do requisito

"conjunto de lentes adequadas" é:

$$4x1 + 4x0 + 5x5 + 3x3 + 5x5 + 4x1 + \dots +$$

$$4x1 + 3x0 + 3x1 + \dots +$$

$$4x0 + 3x0 + \dots +$$

$$1x0 + 2x0 = 74$$

A determinação do valor de importância de cada requisito permite classificá-lo, para a equipe multifuncional poder priorizar as atitudes de melhoramento.

Após o trabalho concluído, faz-se uma revisão geral da matriz de planejamento do produto. Cada aplicação da matriz deve ser tratada particularmente. Existem casos em que, dependendo da conveniência do usuário, podem ser acrescentadas outras colunas, linhas ou mesmo elementos, tais como:

- coluna "reclamações e queixas dos consumidores".
- coluna "metas a serem alcançadas pelo nosso produto" em função da avaliação do consumidor.
- coluna "fatores de vendas", isto é, a influência direta de cada necessidade nas vendas.
- linha "dificuldade técnica de cada requisito técnico", mostrando o nível de dificuldade de execução de cada meta.
- linha "grau de importância(%)" de cada requisito técnico no total do produto.
- linha "custo estimado de cada requisito técnico", medido em porcentagem do total do projeto.

desdobramento da qualidade para o projeto e controle do processo, assim como para a assistência técnica. Mostram-se níveis de qualidade que se pretende atingir e, também, procura-se garantir a qualidade do projeto até a utilização do produto pelo consumidor final.

A matriz de projeto do produto também é encontrada na bibliografia como "matriz das partes" ou "matriz do desdobramento das partes" (Part Deployment Matrix).

Para uma maior facilidade e precisão na construção desta matriz sugere-se, antes de iniciar o trabalho, identificação e documentação de todas as funções do produto. MARTORANO (1993) indica o uso do diagrama FAST ou alguma outra técnica de Análise Funcional. STANGE, PEREIRA (1995) indicam a utilização de um fluxograma, porém na horizontal, na qual cada função deve estar descrita da forma mais clara possível, sendo que no desenvolvimento da árvore das funções utiliza-se o Brainstorming.

Após deve-se então transpor as funções para as "exigências funcionais", com seus respectivos valores objetivo. Pode-se, também, antes de iniciar a matriz descritiva, efetuar uma comparação entre as "soluções caseiras" e as da concorrência, a fim de haver um aperfeiçoamento tanto técnico como econômico.

Selecionam-se então as partes, as quais são levadas à matriz com seus respectivos valores, e com as correlações necessárias com os valores correspondentes e determina-se o valor objetivo das características das partes. Finalmente, priorizam-se três ou quatro partes críticas que servirão como dados de entrada na etapa 5.

AKAO (1990) propõe que se deve desdobrar as características de qualidade dentro de subsistemas, unidades e partes, nesta ordem. E também coloca que o desdobramento da qualidade para níveis de subsistemas pode ser muito volumoso. Assim, assim é melhor limitar para três os níveis de partes. O

desdobramento das unidades críticas na matriz descritiva pode ajudar a prevenir muita complexidade.

Pode-se utilizar ainda ferramentas como FMEA e diagrama causa-efeito.

A. EXEMPLO DE MATRIZ DE PROJETO DO PRODUTO

Neste exemplo, mostra-se o desdobramento da qualidade do primeiro nível, segundo nível e terceiro nível dentro de subsistemas, unidades e partes da Companhia F de sistemas de rádios de controle. Este desdobramento consiste nos seguintes passos:

1. Desdobrar as características da qualidade dentro de subsistemas, unidades e partes, nesta ordem, expressando as relações entre os resultados e as características da qualidade do produto final com a mesma simbologia utilizada na matriz de planejamento do produto.
2. Esclarecer as funções das partes, as características de qualidade das mesmas, as especificações e assim por diante. Nesta etapa também revisam-se as queixas que foram coletadas com respeito a cada unidade e parte (do produto corrente e similares), fazendo-se igualmente a relação com a questão da tendência do produto. Executando-se isto, será possível obter as partes que, segundo as queixas, relacionam-se com a tendência (qualidade perseguida) do produto. Estas partes serão as partes críticas com suas funções (funções das partes críticas), às quais será dada especial atenção no projeto e controle do processo, assim como na sua Assistência Técnica.

2.3 ETAPA 3 - MÉTODO TAGUCHI NO PROJETO DO PRODUTO

Nesta etapa existe uma intercessão entre o Método Taguchi e a matriz de projeto do produto. O método é utilizado como uma ferramenta auxiliadora na execução da matriz.

Os principais objetivos a se alcançar, com a utilização do método Taguchi, nesta etapa, são os seguintes:

1. determinar partes críticas e,
2. otimizar as respectivas características para cada uma das partes críticas consideradas, para após se definir os valores objetivo das partes.

Em primeiro lugar, determinam-se as partes críticas através de um cuidadoso planejamento experimental, onde se estabelecerá quais são as partes (com suas respectivas características) que terão maior influência no desempenho das características de qualidade ou resposta do produto.

Encontram-se neste ponto as partes que, levando em consideração as necessidades dos consumidores, sendo robustas (possuindo características insensíveis aos "ruídos"), minimizariam a perda de qualidade do produto.

Já numa segunda fase, dentro de um mesmo delineamento de experimentos robusto, encontram-se para as características (ou parâmetros) destas partes críticas, os parâmetros de controle e de ruído que afetariam o seu desempenho. Conseguise, então, com o projeto por parâmetros, através da execução da experimentação e análise dos resultados, conforme colocado no capítulo 4, obter a insensibilidade destas características aos parâmetros de ruído (que afetam o seu desempenho) para, assim, determinar os valores objetivos das mesmas.

Desta forma obtém-se, nesta fase, como saída partes críticas robustas, ou seja, com suas características insensíveis aos parâmetros de ruído, acompanhadas de seus respectivos valores objetivos.

Cabe salientar que, se for possível simular o experimento, através de um ajuste matemático ou através de um modelo computacional, deve-se utilizar estas opções sempre que possível, a fim de reduzir custo e tempo despendidos no ensaio, ROSS (1991).

Também torna-se importante salientar que, segundo PHADKE (1989), durante o projeto por parâmetro, assume-se total tolerância aos fatores de ruído e assume-se que componentes e materiais de categoria inferior poderiam ser usados; isto é, fixa-se um limite de custo de fabricação em um valor pequeno, e, nestas condições, minimiza-se a sensibilidade ao ruído e, então, minimiza-se a perda de qualidade.

Após serem determinados os valores objetivos, para as características das partes críticas, calcula-se a perda. Segundo KAKCAR (1985), identificar situações ótimas dos parâmetros requer identificar um critério que é para ser otimizado. Tal critério é a expectativa de perda - o valor esperado de perda monetária que um determinado usuário do produto provavelmente sofrerá, num determinado tempo, durante a vida do produto, passa diretamente pela variação funcional. Uma medida do grau de variação funcional é a expectativa de perda. O conceito de expectativa de perda torna o problema de redução da variação do desempenho concreto. Além disto, oferece uma base comum para comparar variações de diferentes características.

Calcula-se a perda de acordo com a teoria mostrada no capítulo quatro, levando-se em conta a situação que se deseja para a característica, ou seja, nominal é melhor, menor é melhor ou maior é melhor.

Se, no final do projeto por parâmetro, ainda não se tem a perda de qualidade dentro do limite especificado, nem um projeto com baixo custo, necessita-se ir para o projeto por tolerância.

Um dos benefícios de se ter um projeto do produto robusto é a possibilidade de se fazer um projeto do processo de

fabricação também robusto, que é o assunto que se tratará a seguir.

A. EXEMPLO DO MÉTODO TAGUCHI NO PROJETO DO PRODUTO

Um sistema de transmissão manual de um automóvel é lubrificado por meio de engrenagens giratórias que espalham o óleo por todo o mecanismo. O nível de óleo contido na transmissão é suficientemente alto para cobrir a parte mais baixa de algumas engrenagens e realizar a lubrificação por salpico. Outros dispositivos na transmissão podem levar o óleo aos locais apropriados a fim de proporcionar lubrificação uniforme e resfriamento dos componentes.

O problema consiste em distribuir de forma uniforme o óleo de lubrificação sobre os componentes críticos da transmissão manual. O objetivo, então, é alcançar um índice médio de lubrificação de 25,0 ou maior e distribuir a lubrificação de forma uniforme (sem local específico abaixo de 3,0).

A transmissão opera em várias relações, em várias velocidades específicas; o volume de óleo lubrificante que flui para um local observa-se através de janelas plásticas. Este valor é classificado na escala de 0 a 5 (0=inexistente; 3=adequado, e 5=abundante). Os sete locais que precisam de lubrificação são, portanto, somados a fim de obter o índice de lubrificação total da transmissão.

Este experimento foi desenvolvido com alguns parâmetros de ruído incluídos na matriz de projeto, embora não se recomende este procedimento (ROSS, 1991). Foram selecionados quatro relações com velocidades de entradas especificadas para as mesmas. Uma posição em mancal pode utilizar um fluxo normal ou selado, conforme o projeto e dispositivo para direcionar a

lubrificação, que pode pertencer a um projeto recente ou antigo.

| FATORES | NÍVEIS |
|---------|-----------------------------|
| A | segunda marcha em 3000 rpm |
| A | terceira marcha em 3000 rpm |
| A | quarta marcha em 2000 rpm |
| A | quinta marcha em 2000 rpm |
| B | mancal vedado |
| B | mancal padrão |
| C | sem salpico |
| C | com salpico |
| D | projeto novo da cavidade |
| D | projeto antigo da cavidade |

Tabela 5.1 - Fatores e Níveis. (ROSS, 1991)

O interesse em investigar as interações AxB, AxC e AxD acrescenta algumas considerações interessantes às atribuições de colunas. Através dos gráficos lineares necessários para a avaliação das interações quando um dos parâmetros tem quatro níveis, tem-se o arranjo ortogonal L_{16} modificado, conforme tabela 5.2, juntamente com a atribuição de parâmetros e interações.

| | A | B | AxB | C | AxC | D | AxD | Índices |
|----|---|---|-----|---|-----|---|-----|---------|
| 1 | 1 | 1 | 111 | 1 | 111 | 1 | 111 | 27,5 |
| 2 | 1 | 1 | 111 | 2 | 222 | 2 | 222 | 31,5 |
| 3 | 1 | 2 | 222 | 1 | 111 | 2 | 222 | 27,0 |
| 4 | 1 | 2 | 222 | 2 | 222 | 1 | 111 | 27,5 |
| 5 | 2 | 1 | 122 | 1 | 122 | 1 | 122 | 22,0 |
| 6 | 2 | 1 | 122 | 2 | 211 | 2 | 211 | 30,5 |
| 7 | 2 | 2 | 211 | 1 | 122 | 2 | 211 | 25,0 |
| 8 | 2 | 2 | 211 | 2 | 211 | 1 | 122 | 28,5 |
| 9 | 3 | 1 | 212 | 1 | 212 | 1 | 212 | 26,5 |
| 10 | 3 | 1 | 212 | 2 | 121 | 2 | 121 | 29,5 |
| 11 | 3 | 2 | 121 | 1 | 212 | 1 | 121 | 21,5 |
| 12 | 3 | 2 | 121 | 2 | 121 | 1 | 212 | 29,0 |
| 13 | 4 | 1 | 221 | 1 | 221 | 1 | 221 | 27,0 |
| 14 | 4 | 1 | 221 | 2 | 112 | 2 | 112 | 29,5 |
| 15 | 4 | 2 | 112 | 1 | 221 | 2 | 112 | 21,0 |
| 16 | 4 | 2 | 112 | 2 | 112 | 1 | 221 | 25,0 |

Tabela 5.2 - Arranjo Ortogonal L_{16} . (ROSS, 1991)

Na execução do experimento, a transmissão especificada pela condição de ensaio é colocada na relação especificada e o valor de lubrificação é observado em sete locais críticos. O total do índice de lubrificação dos sete locais também é colocado na tabela acima. Índices individuais, posteriormente, tiveram sua análise e revisão, no entanto este exemplo diz respeito somente ao índice total de lubrificação.

A análise da variância do índice de lubrificação está sistematizada na tabela 5.3.

Uma versão combinada da ANAVA se encontra resumida na tabela 5.4, onde os demais parâmetros estão no erro. Os parâmetros que mais contribuíram foram os B e C, sendo que seus melhores níveis foram para mancal vedado e reforço de lubrificação por salpico. Estes dois itens contribuíram com metade da variação observada nos resultados.

| FONTE | SQ | v | V | % |
|-------|--------|----|-------|-------|
| A | 15,92 | 3 | 5,31 | 4,7 |
| B | 23,77 | 1 | 23,77 | 21,0 |
| C | 70,14 | 1 | 70,14 | 62,0 |
| D | 0,39 | 1 | 0,39 | 0,3 |
| AxB | 16,68 | 3 | 5,56 | 4,9 |
| AxC | 9,06 | 3 | 3,02 | 2,7 |
| AxD | 14,55 | 3 | 4,85 | 4,4 |
| TOTAL | 150,48 | 15 | | 100,0 |

Tabela 5.3 - Anava do Índice de Lubrificação. (ROSS, 1991)

A estimativa de média para B no nível 1 e C no nível 2 é:

$$\overline{B_1C_2} = \overline{B_1} + \overline{C_2} - \overline{m_T}$$

$$= 28,00 + 28,88 - 26,78 = 30,10$$

O intervalo de confiança para esta condição é:

$$IC = \sqrt{(F_{0,1;13} \times V_e) n}, \text{ onde:}$$

$F_{0,1;13}$ = valor de F para 90% de confiança, 1 grau de liberdade dos parâmetros e 13 graus de liberdade do erro. Dados extraídos de tabela 5.4.

$$IC = \sqrt{(3,14 \times 4,35)(16/3)} = 1,60$$

| FONTE | SQ | v | V | % | F |
|-------|--------|----|-------|-------|-------|
| B | 23,77 | 1 | 23,77 | 24,2 | 5,46 |
| C | 70,14 | 1 | 70,14 | 71,4 | 16,12 |
| e | 56,48 | 13 | 4,35 | 4,4 | 43,38 |
| TOTAL | 150,48 | 15 | | 100,0 | |

Tabela 5.4 - Versão Combinada da Anava. (ROSS, 1991)

Portanto o índice médio de lubrificação é estimado como situado dentro da amplitude de 28,5 a 31,7 com confiança de 90%. Se obteve esta amplitude pela estimativa de média para B no nível 1 e C no nível 2 ser de 30,1, tendo um intervalo de confiança de 1,6. O objetivo do experimento consistiu em

atingir uma média de pelo menos 25, de modo que se pode alcançar o objetivo com estas duas configurações de projeto.

5.2.4 - ETAPA 4 - MATRIZ DE PLANEJAMENTO DO PROCESSO

Nesta matriz entra-se com as partes críticas retiradas na etapa 2, e identificam-se os itens (parâmetros) de controle que devem ser incorporados ao projeto do processo para se implementar as características de qualidade. Em outras palavras, é a matriz que comunica objetivos de projeto e pontos de garantia da qualidade para a equipe de produção.

Entra-se, nesta matriz descritiva, com as partes críticas (três ou quatro), com suas características e respectivos valores meta, e relaciona-se as mesmas com as etapas do processo necessárias para garantir a qualidade destas tais partes. E para cada etapa do processo, a equipe deve definir parâmetros de controle para avaliar o desempenho do processo, sendo que cada parâmetro (item) de controle deve possuir uma meta.

Recapitulando as etapas do QFD, vistas até agora, tem-se no começo as demandas dos consumidores que foram desdobradas e, numa etapa posterior, são desdobradas dentro das unidades componentes, as quais serão então enviadas ao processo de produção. AKAO (1990) coloca que esta seqüência está incluída dentro de duas etapas maiores, que são:

- 1. Seleção das partes críticas em relação à qualidade, itens de inspeção e padrões de inspeção.** Baseando-se no desdobramento descrito acima, uma rigorosa avaliação do protótipo seria conduzida, como uma auditoria de garantia da qualidade projetada, a fim de organizar um critério de produção. Em seguida, se estabelecem padrões de inspeção, incluindo-se

características para se inspecionar as partes críticas (as quais indicam níveis das características de qualidade para serem garantidos para cada parte), e métodos de inspeção para serem usados.

2. **Facilidades e desdobramento do processo.** O fluxo do processo da matéria prima para o produto final, assim como facilidades necessárias e condições do processo, sumarizam-se na matriz de planejamento do processo (etapa atual). As características de qualidade e os padrões de qualidade para partes, produtos provisórios e semiprodutos, devem desdobrar-se dentro de itens de controle do processo (pontos de checagem). Estes desdobramentos serão mostrados resumidamente na matriz de planejamento do controle do processo (planejamento da produção), etapa 7.

Normalmente, o departamento de engenharia de produção desenvolve o projeto do processo, mas a matriz de planejamento do processo é uma importante ferramenta de conexão para transmissão de informações entre o projeto e departamentos de produção.

A matriz de planejamento do processo para partes críticas deve ser priorizada de acordo com a magnitude do processo ou seu grau de novidades. Nesta etapa especifica-se quem está envolvido, e quando. Pode-se transferir esta informação para a matriz de planejamento da produção, etapa 7, a qual vem a ser a base para a garantia da qualidade no "chão de fábrica".

Nesta etapa MARTORANO (1993) propõe o uso de ferramentas auxiliares, tais como: benchmarking do processo, para buscar melhores alternativas de melhor desempenho para o processo considerado crítico, e FMEA (Análise de Modo de Falha e Efeito) para assegurar que possíveis falhas do processo sejam consideradas e analisadas.

A. EXEMPLO DE MATRIZ DE PROJETO DO PROCESSO

Neste exemplo se mostrará a carta de planejamento do processo para uma lâmpada de luz elétrica. Quando pontos de controle do processo estão sendo determinados para se garantir as características de qualidade no projeto do processo, "nível de vácuo" e "pressão do gás" são identificados como pontos de controle do processo porque como consequência, o processo de vácuo, afeta a "vida" e a "propriedade de anti-vibração" das lâmpadas de luz elétrica. Em outras palavras, as características de uma lâmpada de luz elétrica são convertidas, ou relacionadas, em pontos de controle do processo. Estes pontos de controle do processo serão transferidos para a matriz de planejamento do controle do processo.

Para melhor compreender o exemplo, mostra-se junto parte da matriz de desdobramento das partes. Parte esta que pode estar incluída na matriz de projeto do processo.

| N | Partes | Carac. produto final | Carac. qualidade partes |
|---|-----------|----------------------|-------------------------|
| 1 | Bulbo | % luz transmitida | espessura do vidro |
| | | volume do bulbo | dimensões, forma |
| 2 | Filamento | luz angulo de aber. | luz - posição filamento |
| | | intensidade da luz | diâmetro, comp., compo. |
| | | cor/temperatura | idem anterior |
| 3 | Proteção | distribuição da luz | posição, forma, dimen. |
| 5 | Terminal | firmeza da conexão | dimensões |
| | | dimensões | idem |
| | | material | idem |

Fig. 5.7 - Matriz de Desdobramento das Partes. (AKAO, 1988)

| N | Processo | Condições Processo | | Carac. das Partes | | | | | | Pontos de Controle do Processo | |
|---|------------------|---------------------------|--------|-------------------|----------|------------|----------|------------------|----------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | Equipamento | Índice | • HOC | • LUN | • LON | • VAC | • DIA | • COR | | |
| 1 | expansão | máquina de expansão | 2-3 s | | | | | | ○ | ○ | diâm. int. e ext., espessura |
| 2 | process. da base | máquina formadora da base | 2-3 s | | | | | | ○ | ○ | dimensões temperatura |
| 3 | encaixamento | máquina de encaixamento | 5 s | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | fenda do filamento |
| 4 | lacramento | máquina de lacramento | 3-5 s | | | | | | ○ | ○ | aparência externa |
| 5 | exaustão do ar | máquina de exhaust. ar | 3-5 s | Δ | ○ | ○ | | ○ | | ○ | nível de vácuo, pressão do gás |
| 8 | inspeção final | fotometro | | | | | | | | | |
| | | testador de longevidade | | | | 600 700 | | | | | |
| | | testador de vibração | | | | | | JIS D 1601 | | | JIS D 1601 nível 4G, 8h |

Fig. 5.8 - Matriz de Projeto do Processo. (AKAO, 1988)

5.2.5 - ETAPA 5 - MÉTODO TAGUCHI NO PROJETO DO PROCESSO

Durante o projeto do processo de fabricação, não se pode reduzir efeitos dos parâmetros de ruído externos ou deterioração (ou ruído interno, como definido no capítulo 4) de componentes que afetam o desempenho do produto em uso. Pode-se unicamente fazer isto durante o projeto do produto e seleção de materiais e componentes.

Contudo, a variação unidade a unidade (ou ruído do produto, como definido no capítulo 4) pode-se reduzir durante o projeto do processo, porque o projeto por parâmetro durante o projeto do processo reduz a sensibilidade à variação unidade a unidade para vários fatores de ruído que afetam o processo de fabricação.

Cabe salientar que a variação unidade a unidade, ou ruídos do produto, também pode ser minimizada no projeto do produto.

PHADKE (1989) coloca que para alguns produtos a razão de deterioração pode depender do projeto do processo de fabricação. Por exemplo, em componentes microeletrônicos, a quantia de impurezas tem uma relação direta com a razão de deterioração de circuitos integrados e isto pode ser controlado durante o projeto do processo. Para algumas partes mecânicas, o acabamento superficial pode determinar a razão de desgaste e isto também pode ser controlado durante o projeto do processo. Portanto, freqüentemente diz-se que o projeto do processo de fabricação tem um importante papel no controle da deterioração do produto. Porém, não é a mesma coisa como fabricar-se um produto insensível a problemas, tais como impurezas ou acabamento superficial. A redução da sensibilidade no desempenho do produto pode unicamente ser obtida durante o projeto do produto. Na terminologia do Projeto Robusto, consideram-se os problemas de impurezas ou acabamento

superficial como uma parte da variação da fabricação (variação unidade a unidade) em torno do valor alvo.

Então, tem-se como objetivo principal, nesta etapa, minimizar a variabilidade do processo em relação aos parâmetros de ruído do produto (unidade a unidade), levando-se em conta as necessidades dos consumidores, ou seja, para as etapas do processo que afetam as características das partes críticas, priorizadas na etapa 2.

Novamente, o método Taguchi vem em auxílio do QFD no momento em que, tendo-se as etapas do processo necessárias para atingir os valores objetivados para as partes críticas, utiliza-se o método para determinar os parâmetros críticos do processo, os quais, levando-se em conta os fatores de ruído do produto (unidade a unidade), busca-se minimizar. E então, se possível, determina-se a situação ótima destes parâmetros para, finalmente, determinar os valores ótimos para os parâmetros críticos do processo.

Os procedimentos necessários para se realizar o planejamento, a execução e a análise dos experimentos, durante o projeto por parâmetros, são iguais aos da etapa 3 (método Taguchi no projeto do produto). E, da mesma forma, calcula-se a expectativa de perda para uma variação no desempenho.

É fundamental calcular a perda, pois com ela obtêm-se os custos ocorridos durante o processo de produção, podendo-se fabricar produtos com custo menor. E, também, através da função perda, podemos avaliar o nível de qualidade do processo.

A. EXEMPLO DO MÉTODO TAGUCHI NO PROJETO DO PROCESSO

Este exemplo, retirado de BACKER (1986), envolve a "borboleta", uma pequena parte de plástico de uma máquina de cortar grama. O plástico deve resistir ao efeito solvente do

combustível e às pressões do retorno da mola na obstrução (estrangulamento) automática do mecanismo. O atual projeto para estas partes é resultado de reclamações e de um considerável número de atividades relacionadas ao serviço. A perda para esta situação é como segue:

$$L(y) = k(y - m)^2 \Leftrightarrow L(y) = k(100 - 160)^2$$

$$\$50 = k(60)^2 \Leftrightarrow k = \frac{\$50}{3600} = \$0,013889$$

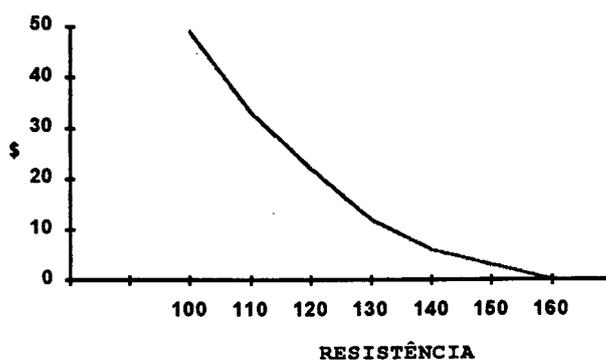


Fig. 5.9 - Função Perda para "Borboleta". (BACKER, 1986)

O processo para se fazer esta peça, onde é utilizada uma máquina extrusora, pode ser totalmente controlado e os parâmetros estão listados na tabela 5.5, com seus limites de trabalho e de tolerância de custo.

| PARÂMETRO | LIMITE DE INTERESSE | TOLERÂNCIA DE CUSTO |
|----------------------|--------------------------------------|---------------------|
| Taxa de Alimentação | 1000 - 1400 GMS/MIN | 20 % |
| Primeiro aperto RPM | 400 - 480 RPM | 10% |
| Segundo aperto RPM | 850 - 950 RPM | 10% |
| Tamanho da abertura | -30 a +30 milésimos do valor nominal | 10% |
| Primeira Temperatura | 280 - 360 graus | 15% |
| Segunda Temperatura | 320 - 400 graus | 15% |

Tabela 5.5 - Limites de Trabalho e de Tolerância de Custo

De acordo com a bibliografia, sobre o método Taguchi, o arranjo ortogonal que mais se adapta a este caso é o L27. Cabe aqui salientar que da maneira tradicional seriam feitas 729 rodadas de experimentos (fatorial saturado), mas o método Taguchi proporciona uma forma menos confusa para este tipo de projeto, dado pelos arranjos ortogonais e gráficos lineares. Taguchi explana que se pode usar apenas certas colunas de um completo arranjo ortogonal para evitar o confundimento dos principais efeitos.

| TAXA | PRI | SEG | | PRI | SEG |
|--------|-----|-----|----------|------|------|
| ALIMEN | RPM | RPM | ABERTURA | TEMP | TEMP |
| 1000 | 400 | 850 | -30 | 280 | 320 |
| 1000 | 400 | 900 | 0 | 320 | 360 |
| 1000 | 400 | 950 | +30 | 360 | 400 |
| 1000 | 440 | 850 | 0 | 320 | 400 |
| 1000 | 440 | 900 | +30 | 360 | 320 |
| 1000 | 440 | 950 | -30 | 280 | 360 |
| 1000 | 480 | 850 | +30 | 360 | 360 |
| 1000 | 480 | 900 | -30 | 280 | 400 |
| 1000 | 480 | 950 | 0 | 320 | 320 |
| 1200 | 400 | 850 | 0 | 360 | 360 |
| 1200 | 400 | 900 | +30 | 280 | 400 |
| 1200 | 400 | 950 | -30 | 320 | 320 |
| 1200 | 440 | 850 | +30 | 280 | 320 |
| 1200 | 440 | 900 | -30 | 320 | 360 |
| 1200 | 440 | 950 | 0 | 360 | |
| 1200 | 480 | 850 | -30 | 320 | |
| 1200 | 480 | 900 | 0 | 360 | |
| 1200 | 480 | 950 | +30 | 280 | |
| 1400 | 400 | 850 | +30 | 320 | |
| 1400 | 400 | 900 | -30 | 360 | |
| 1400 | 400 | 950 | 0 | 280 | |
| 1400 | 440 | 850 | -30 | 360 | |
| 1400 | 440 | 900 | 0 | 280 | |
| 1400 | 440 | 950 | +30 | 320 | |
| 1400 | 480 | 850 | 0 | 280 | |
| 1400 | 480 | 900 | +30 | 320 | |
| 1400 | 480 | 950 | -30 | 360 | |

| MATRIZ DE RÚIDO | | | | | |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 800 | 360 | 765 | -27 | 238 | 272 |
| 800 | 400 | 850 | -30 | 280 | 320 |
| 800 | 440 | 935 | -33 | 322 | 368 |
| 1000 | 360 | 765 | -30 | 280 | 368 |
| 1000 | 400 | 850 | -33 | 322 | 272 |
| 1000 | 440 | 935 | -27 | 238 | 320 |
| 1200 | 360 | 850 | -27 | 322 | 320 |
| 1200 | 400 | 935 | -30 | 238 | 368 |
| 1200 | 440 | 765 | -33 | 280 | 272 |
| 800 | 360 | 935 | -33 | 280 | 320 |
| 800 | 400 | 765 | -27 | 322 | 368 |
| 800 | 440 | 850 | -33 | 238 | 272 |
| 1000 | 360 | 850 | -33 | 238 | 368 |
| 1000 | 400 | 935 | -27 | 280 | 272 |
| 1000 | 440 | 765 | -30 | 322 | 320 |
| 1200 | 360 | 935 | -30 | 322 | 272 |
| 1200 | 400 | 765 | -33 | 238 | 320 |
| 1200 | 440 | 850 | -27 | 280 | 368 |

MATRIZ DO PROJETO

MATRIZ DE RÚIDO

Fig. 5.10 - Matriz de Projeto e de Ruído. (BACKER, 1986)

A figura 5.10 mostra uma sistemática distribuição dos níveis para os seis parâmetros em estudo (matriz de projeto), combinada com a matriz de ruído. A matriz de ruído aparece em virtude da necessidade de também se controlar a variação na resistência. Então, para cada rodada de experimentos tem-se o estudo da variação na tolerância do parâmetro e da variabilidade da resistência.

| | | | | | | |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------------|
| 800 | 360 | 765 | -27 | 238 | 272 | RESIST. QUEBRA = 27.57 |
| 800 | 400 | 850 | -30 | 280 | 320 | RESIST. QUEBRA = 72.11 |
| 800 | 440 | 935 | -33 | 322 | 368 | RESIST. QUEBRA = 102.18 |
| 1000 | 360 | 765 | -30 | 280 | 368 | RESIST. QUEBRA = 96.68 |
| 1000 | 400 | 850 | -33 | 322 | 272 | RESIST. QUEBRA = 61.00 |
| 1000 | 440 | 935 | -27 | 238 | 320 | RESIST. QUEBRA = 118.55 |
| 1200 | 360 | 850 | -27 | 322 | 320 | RESIST. QUEBRA = 106.23 |
| 1200 | 400 | 935 | -30 | 238 | 368 | RESIST. QUEBRA = 143.22 |
| 1200 | 440 | 765 | -33 | 280 | 272 | RESIST. QUEBRA = 59.00 |
| 800 | 360 | 935 | -33 | 280 | 320 | RESIST. QUEBRA = 84.84 |
| 800 | 400 | 765 | -27 | 322 | 368 | RESIST. QUEBRA = 65.48 |
| 800 | 440 | 850 | -33 | 238 | 272 | RESIST. QUEBRA = 29.22 |
| 1000 | 360 | 850 | -33 | 238 | 368 | RESIST. QUEBRA = 120.35 |
| 1000 | 400 | 935 | -27 | 280 | 272 | RESIST. QUEBRA = 83.78 |
| 1000 | 440 | 765 | -30 | 322 | 320 | RESIST. QUEBRA = 94.60 |
| 1200 | 360 | 935 | -30 | 322 | 272 | RESIST. QUEBRA = 81.49 |
| 1200 | 400 | 765 | -33 | 238 | 320 | RESIST. QUEBRA = 98.89 |
| 1200 | 440 | 850 | -27 | 280 | 368 | RESIST. QUEBRA = 128.07 |

RESISTÊNCIA QUEBRA = 104.345

Figura 5.11 - Exemplo de Uma Rodada de Teste da Matriz de Ruído. (BACKER, 1986)

Para cada uma das 27 rodadas de experimentos da matriz do projeto, serão feitas 18 rodadas de testes na matriz de ruído, obtendo-se um total de 27 x 18, ou 486 rodadas de experimentação. Neste processo particular, o tempo é de 30 segundos por parte e o custo do material é menor que \$1 para o teste das partes que será feito. Se o projeto for feito em

menos de uma semana terá o custo total de \$5.000. Este é um menor custo em comparação com a perda que se constata em campo.

Para cada experimento se obtém a devida resistência resultante. E, desde que se tenha usado o delineamento ortogonal, é possível usar o método de Análise da Variância (ANAVA), técnica que é usada para se determinar o quanto as fontes de variação contribuem para a variação na resistência e quais os parâmetros colocam a resistência próxima ao objetivo.

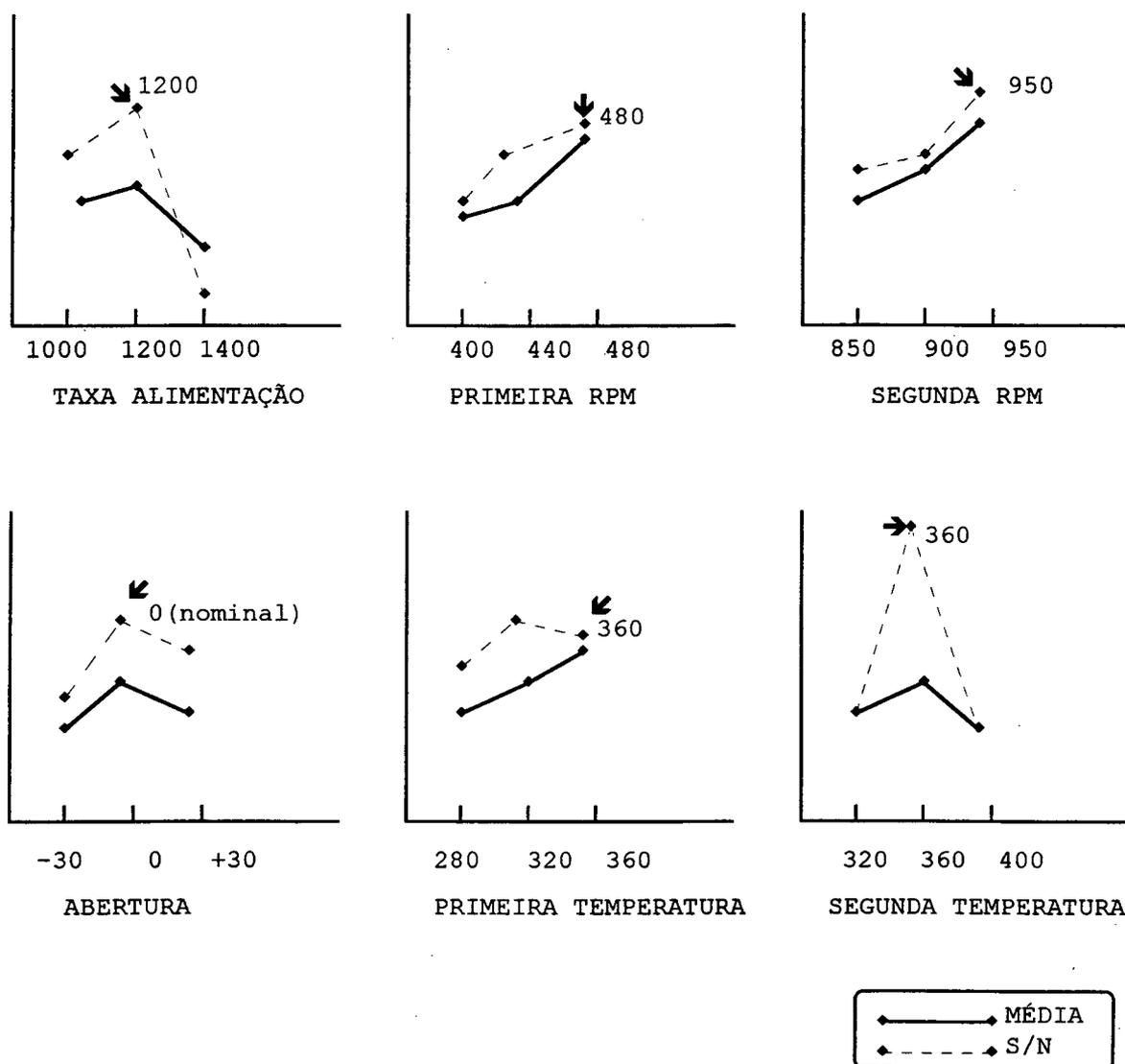


Fig. 5.12 - Relações Funcionais (BACKER, 1986)

As relações funcionais estão plotadas na figura 5.12. A análise mostra que quatro parâmetros têm um efeito significativo na relação S/N (controle), enquanto que todos os outros influenciam a média (ruído). (Ver tabela 5.6) Isto é uma

vantagem, desde que se possa usar os parâmetros de controle para situar a variação em um nível baixo e enviar a média para o alvo com os parâmetros de ruído. Desde que o parâmetro não exiba um efeito estatisticamente significativo para a S/N, move-se o nível em favor da resposta média.

PARA S/N

| FONTE | VARIÂNCIA | F |
|---------------------|-----------|-------|
| Taxa de Alimentação | 33,0 | 10,2* |
| Primeira RPM | 12,0 | 3,8* |
| Segunda RPM | 13,0 | 4,0* |
| Abertura | 5,8 | 1,8 |
| Prim. Temperatura | 1,1 | 0,3 |
| Seg. Temperatura | 24,0 | 7,4* |

nível de significância de 0,05

PARA MÉDIA

| FONTE | VARIÂNCIA | F |
|-------------------|-----------|-------|
| Taxa Alimentação | 471 | 10,7* |
| Primeira RPM | 625 | 14,3* |
| Segunda RPM | 815 | 18,6* |
| Abertura | 421 | 9,6* |
| Prim. Temperatura | 225 | 5,1* |
| Seg. Temperatura | 381 | 8,7* |

nível de significância de 0,05

Tabela 5.6 - Variância Levando em Consideração a Média e o S/N

| PARÂMETRO DE CONTROLE | PARÂMETRO DE SINAL |
|-----------------------------|-----------------------|
| Taxa de Alimentação | Tamanho Abertura |
| Primeira RPM | Prim. Temperatura |
| Segunda RPM | |
| Seg. Temperatura | |
| AFETAM A VARIAÇÃO E A MÉDIA | AFETAM APENAS A MÉDIA |

Tabela 5.7 - Parâmetros que Contribuem para a Variação

Faz-se agora o experimento de verificação com os níveis ótimos dos parâmetros. Nota-se que a variação neste experimento de verificação está ainda maior do que aquele com que se pode conviver, e causaria uma perda de \$10,90 por máquina baseado na relação da função perda de $k.s^2$. Mas, tem-se ainda a possibilidade de se obter a meta em relação à variação. O experimento não foi feito para uma situação dos eventos ao acaso, mas com um delineamento experimental. Com a ANAVA pode-se determinar os principais parâmetros que contribuem para a variação, ver tabela 5.7.

| FONTE | VARIÂNCIA | %CONTRIBUIÇÃO |
|-------------------|-----------|---------------|
| Taxa Alimentação | 1449 | 10,9 |
| Primeira RPM | 4138 | 31,0 |
| Segunda RPM | 2802 | 20,7 |
| Abertura | 100 | 0,9 |
| Prim. Temperatura | 3224 | 24,0 |
| Seg. Temperatura | 1066 | 8,0 |
| residual | | 4,5 |

Tabela 5.8 - Anava para o Experimento de Verificação

A primeira RPM e a segunda temperatura são as maiores contribuidoras seguidas da segunda RPM e taxa de alimentação. Racionalmente, então, reduz-se as tolerâncias destes componentes para atender o nível de tolerância requerido pelo produto. Baseado em uma redução da variação monta-se um projeto final para verificar as novas tolerâncias. Nota-se que a melhoria foi duas vezes maior que a melhor combinação do projeto original.

Se produzir um milhão de máquinas, a perda evitada devido a este programa de engenharia da qualidade é de \$3 milhões. A perda no projeto original é de \$39 por máquina e a nova perda por máquina é de apenas \$3.

5.2.6 ETAPA 6 - MATRIZ DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Não se pode esperar que os requisitos dos consumidores se mantenham durante o projeto e processo de produção, e que se tenha uma significativa redução de custos, na aplicação do QFD, sem que o departamento de produção realize avançados testes de investigação e participe no desenvolvimento do novo produto, ou melhoria do mesmo, desde a concepção.

Na etapa 5, no desdobramento do processo, procura-se selecionar apropriados métodos de processo e equipamentos, baseado num balanceamento entre qualidade e custo pela:

1. comparação entre processos e capacidade de processos usando maquinaria existente;
2. revisão dos problemas de produção e identificação dos pontos que necessitam de melhoramentos, e;
3. comparação entre os custos de vários métodos de processos.

Agora, na análise dos processos críticos, determinam-se os aspectos para controle do processo de produção e discute-se várias maneiras para garantir a requerida precisão. O departamento de produção conduz esta análise após receber os requisitos do departamento de projeto para aspectos críticos, mudanças e melhoramentos. E, a análise do processo deve incluir as seguintes atividades: (AKAO, 1990)

1. converter os requisitos transmitidos pelo departamento de projeto em itens de controle do processo de produção;
2. determinar se a requerida capacidade do processo é alcançável;
3. avaliar relações entre capacidade do equipamento e garantia da capacidade do processo, e determinar como mudanças na capacidade do equipamento afetariam os requisitos em questão;
4. identificar gargalos de engenharia que poderiam limitar a capacidade para satisfazer a qualidade, distribuição e requisitos de custo, e

5. determinar se é possível testar o erro do processo de produção.

Nesta etapa pode-se também realizar uma revisão de projeto, focalizando especialmente a garantia da qualidade de produtos e de produtividade, predizendo problemas de qualidade no estágio de produção em massa e potenciais dificuldades na produção. Os resultados retornariam para o grupo de projeto fixar isto, como informações, nos desenhos. Poderia também ser feito um protótipo para confirmar a qualidade do projeto. O departamento de produção usaria esta revisão para prognosticar problemas de qualidade na produção durante a produção em massa. Após todos os resultados da análise dos processos críticos terem sido obtidos, um projeto específico do processo pode ser feito.

Uma decisão importante, antes de se iniciar a produção, é a opção de fazer algumas partes (ou subsistemas, ou montagens,...) "fora ou em casa". Sabe-se que as empresas alvo do sistema, fábricas montadoras nacionais, apesar de produzirem muitas peças na própria empresa, na maioria dos casos, optam por fazer as mesmas através de terceiros (Agrale S.A, Random S.A, Marcopolo S.A, e outras). Por causa disto, torna-se neste momento necessário fazer tal distinção para se realizar o planejamento do controle de qualidade no processo, diferenciando-se o planejamento do controle para processos "caseiros" e para peças compradas.

1. PARTES FEITAS NA PRÓPRIA EMPRESA

Construir a qualidade em cada etapa é importante, assim todo esforço deve ser feito para isso. Resolver todos os problemas prévios de qualidade relatados pela produção é desejável, mas na prática isto freqüentemente não é feito.

Qualidade durante o processo de produção significa considerar várias condições no controle do processo de produção, e a ferramenta central para tal controle é a matriz de planejamento do controle do processo.

AKAO (1990) considera essa matriz como o registro das promessas feitas entre departamento de produção e inspeção, considerando a maneira pela qual aspectos da qualidade serão controlados e a qualidade final do produto assegurada. E, freqüentemente os seguintes itens são especificados na matriz:

- 1.aspectos da qualidade serem assegurados e grau de importância para cada processo de produção;
- 2.freqüência da amostragem, métodos de mensuramento e a pessoa do departamento de produção responsável para confirmar os valores das características de qualidade;
- 3.métodos usados no controle dos parâmetros que podem causar variância nos valores alvos das características da qualidade, e
- 4.freqüência da inspeção, métodos de inspeção e tamanho da amostragem para serem utilizados pelo departamento de inspeção.

O passo mais importantes na preparação da matriz desta etapa estão na definição dos métodos de controle e seleção dos itens de controle a serem monitorados. A seleção dos itens de controle para as características de qualidade deve ser baseada nas considerações dos itens de garantia da qualidade transmitida pelo departamento de projeto, e o grau em que eles podem ser desdobrados dentro da engenharia de produção.

A escolha do método de controle é usualmente determinada por:

- 1.importância relativa das características de qualidade para serem controladas;
- 2.capabilidade do processo e natureza da sua variância; e
- 3.possibilidade de se descobrir qualquer variância na característica durante o processamento.

Quando o processo caseiro é para ser usado, deve-se avaliar abundantes informações da engenharia de produção dos itens listados abaixo e um eficiente método de controle deve se basear em:

1. Métodos de processos, procedimentos e modelos de processo.
2. Equipamento e facilidade de capabilidade.
3. Informações para manutenção preventiva e preditiva para equipamentos e ferramentas.
4. Recomendação da frequência da mudança de ferramenta.
5. Fatores humanos.

2. PARTES COMPRADAS

Quando partes são feitas fora, isto é compradas, a resposta e orientação provida para o fornecedor pelo montador varia de acordo com o nível de controle de qualidade no processo que está sendo aplicado. AKAO (1990) recomenda os seguintes pontos como importantes.

Uma considerável quantidade de informações deve ser obtida e trocada no processo de oferecimento de orientação para o fornecedor de fora. A respeito disto, o fornecedor de fora pode vir a ser uma extensão da atividade caseira. Itens de alta prioridade e pontos críticos para produção e inspeção devem ser comunicados para o fornecedor nas reuniões de engenharia, e a matriz de planejamento do controle da produção e modelos de inspeção podem ser preparados pelo fornecedor para serem aprovados pela montadora. Se qualquer problema é descoberto, a informação apropriada deve retornar ao fornecedor para a solução do problema. Normalmente, as peças compradas são compradas das próprias firmas produtoras, e as partes são projetadas e produzidas com as especificações do comprador. Os fornecedores geralmente são fabricantes exclusivos, e já

oferecem qualidade assegurada (com especialidade ou alto nível de controle).

Os fornecedores podem submeter a matriz de planejamento do controle do processo e modelos de inspeção para a aprovação da montadora (fabricante) (ver normas ISO 9000). Os pontos cruciais e que devem sempre ser indicados na matriz são:

1. especificações;
2. medida de desempenho, função e testes de durabilidade que serão realizados pelo fornecedor;
3. medida de desempenho, função e durabilidade que serão testadas após a instalação pela montadora; e
4. maneira pela qual os problemas serão resolvidos.

É importante colocar estes pontos adequadamente no estágio de teste do protótipo, assim que problemas possam ser trabalhados por ambas as firmas. Podem ser colocados os resultados das atividades de identificação e solução destes problemas dentro das especificações ou refletidas na matriz.

Quando ocorrem dificuldades depois da produção em massa começar, é importante não apenas obter um plano de ação corretiva dado pelo fornecedor, mas também confirmar que a medida corretiva está implantada no processo de produção do fornecedor e refletida em suas operações modelos.

A importância desta etapa, muitas vezes, é diminuída por argumentos do tipo "isto nós já temos" ou "nosso pessoal da produção (ou da administração, das vendas, da assistência técnica,...) já sabe o que, como e quando algo deve ser feito". Ainda que seja assim, a realidade mostra, com frequência, que, ao final das contas, as pessoas não sabem por que um procedimento deve seguir à risca certas prescrições dadas. É que a busca continuada de melhorias pode ser arrefecida por falta de treinamento ou de informações a respeito dos princípios básicos de produção. É justamente o QFD que fornece o significado e a importância das prescrições de trabalho a todos os participantes das fases que compõem o ciclo de vida do produto.

Nesta fase não se utiliza necessariamente uma matriz descritiva, mas podem-se fazer cartas de planejamento do controle do processo, com planos detalhados para checar e controlar as características chaves dos processos e das partes.

Propõe KING (1987), ainda, a utilização do diagrama árvore para análise de falhas do processo, o que mostraria, de maneira geral, algumas das causas e sub-causas de prováveis falhas no processo, e a Análise do Modo de Falha e Efeito (FMEA), que proporcionaria uma maneira sistemática de considerar potenciais modos de falha.

A. EXEMPLO DA MATRIZ DE PLANEJAMENTO DO CONTROLE DO PROCESSO

Neste exemplo utiliza-se parte de um estudo de caso que se encontra em AKAO (1990), o caso da Matsushita Electronic Components Company.

Em resumo, nessa companhia é realizado um longo trabalho de planejamento do controle do processo, até chegar a uma carta baseada em um Manual de Preparação de Cartas de Controle do Processo. Este manual foi desenvolvido para dar orientação a uma completa implementação de cartas do controle do processo. Ele ensina como fazer descrições corretas, como preparar e compreender itens de controle, como usar símbolos mapeando o processo e como traçar cartas de fluxo do processo - tudo de acordo com a "Japanese Industrial Standards" (JIS).

Então, controle de itens, check de itens e métodos de controle para cada unidade do processo são introduzidos nesta carta de controle do processo (planilha de trabalho). Isto permite que se faça uma revisão geral do processo total ou estudo das relações entre blocos de processos, assim podendo-se preparar uma estrutura de controle. Problemas superficiais, descobertos por uma investigação ou por atividades de controle

dia a dia, são resolvidos principalmente pelo departamento de produção, em cooperação com departamentos relacionados. Isto aumenta a estrutura do processo de controle.

Esta matriz é então uma revisão geral do controle do processo, sendo consequência de um detalhado trabalho de preparação para o controle do processo, onde se descreve fornecimento de materiais e parte para a montagem do produto completo. Uma carta separada é preparada para cada produto, definindo o ponto e o método de controle para cada unidade de processo, especificando qual planilha de check ou carta de controle que deve ser usada para controlar tais aspectos no processo, mostrando a seqüência de várias unidades do mesmo.

Para esse detalhamento se utilizam ferramentas, tais como: ciclo P-D-C-A, diagrama dos 5M, engenharia do valor, e outras. As etapas seguidas, por esta companhia, até chegar a matriz de planejamento do processo, são as seguintes:

- . Seleção de um processo para mapeamento.
- . Determinação dos itens de controle, dividido em passos, que são:
 1. Definição da unidade de processo.
 2. Definição do nível mais alto da função da unidade de processo.
 3. Determinação dos itens de controle
 4. Investigação dos métodos de controle.
- . Determinação de check de itens.
- . Elaboração da matriz de planejamento do processo.

Neste ponto chega-se a uma grande carta de controle do processo para, em seguida, obter-se uma matriz geral do planejamento do controle do processo.

Para melhor compreender o exemplo, mostra-se esta carta de controle do processo (apenas o cabeçalho com os itens que a compõe) e, após, mostra-se parte da matriz para planejamento do controle do processo, para o processo de estampagem da junta do circuito, da empresa em questão no estudo de caso.

| Nome do Produto | | Produto A | Processo | Revestimento | REVESTIMENTO DO PRODUTO A | | | | | | |
|----------------------|------------------------|---------------|---------------------------|--|-------------------------------|----------------|-------------------|-----------|----------------|----------------|--------------------------------|
| Especificação | ESU-Tipo | 245 | Data emissão | 21/05/86 | CARTA DE CONTROLE DO PROCESSO | | | | | | |
| Número da Parte | 2413 | | Data implementação | 1/06/86 | | | | | | | |
| Processo | | | | Pontos de Controle | | | | | | | |
| Processo Principal | | | | Item de Controle (Checar pelo resultado) | | | | | | | |
| Parte/Mater. Trabal. | Matéria/Prima Processo | Custo Proces. | Itens Controle do Proces. | Conteúdo | 5 M | Grau de impor. | Itens de Inspeção | Restrição | Grau de impor. | Item de Contr. | Anormalidade Julgamento Modelo |

| Aprovação | | Discussão | | | Preparado por | | Controle No. | | |
|------------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------------|--------------|--------------------------------|--|
| Supervis. Marcelo | CQ Adão | Engenharia Geraldo | Eng. Produção Jorge | Compras Marcos | Chefia Produção Filipe | Estamp. João | FOC - 001 | | |
| Método de Controle | | | | | | | | | |
| Método de medir a Amostragem | | | | Controle Informação | | Incumbência e Dist. Controle | | Método de Julgar Anormalidades | |
| Frequência | Método de Amostragem | Método e Instrum. de medir | Encarregado | Carta de Controle | Planil. Check | Chefe Grupo | In-cunbência | | |

| Partes | Carta de Fluxo | | | Proces. | Planilha Instruções Trabalho | Item de Controle | Método de Controle | | | Notas |
|------------------------------------|----------------------|------------------|------------------------------|--|------------------------------|---|---|---|--------------------------|-------|
| | mater. prima proces. | prepar. processo | processo princip. | | | | manual instr. | carta contr. bñcia | incun- amostra e medição | |
| liqui- do re- moved. de ferru- gem | | | omitido (processo acabamen.) | engrax. prevent ferrugem lavar água | 263-BD-32 263-BD-33 | item de check concen. líquido pressão água | planilh. João check idem idem 273-DB-22 | 1/dia medir concentração 2/dia visual | | |
| liqu. prev. de ferr. | | | | preven. ferrugem | 263-DB-34 | ph do líquido vol. de líquido fluxo líquido | idem idem idem 273-DB-23 e 24 | 2/dia 2/dia 2/dia visual | | |
| fluxo tiner | | | | fluxo revest. | 263-DB-35 | volum. líquid. temper. secagem | gráfic Adão planilh. idem check | 1/dia medir w/ 2/dia CFM lendo temper. | | |

Fig. 5.13 - Carta e Matriz do Planejamento do Controle do Processo (AKAO, 1990)

5.2.7 ETAPA 7 - MÉTODO TAGUCHI NA PRODUÇÃO

Não importa o quanto bem se projetou um processo de fabricação: ele não será perfeito. Portanto, é necessário haver um controle de qualidade on-line rotineiramente, durante a fabricação, para a variação do produto (unidade a unidade) poder ser minimizada. Taguchi diz que existem, segundo PHADKE (1989), três tipos principais de atividades de controle on-line:

1. Detecção e correção: aqui a meta é reconhecer imediatamente a quebra de uma máquina ou uma parte do equipamento, uma mudança na característica da matéria prima, ou um erro de operação, os quais tenham um consistente efeito no processo. Isto se realiza observando, periodicamente, as condições do processo e as características do produto. Uma vez que um desvio é observado, apropriada ação corretiva é feita para prevenir que futuras unidades fora do objetivo sejam feitas. O método de detecção e correção é uma maneira de balancear a perda de qualidade que o consumidor sofrerá, resultante da variação do produto e das despesas de operação do fabricante, incluindo os custos de testes periódicos e correção de problemas. Então, incluem-se aqui, atividades como a manutenção preventiva e preditiva e a aquisição de bons equipamentos de teste. As técnicas de controle estatístico do processo (CEP) são freqüentemente usadas para detecção de problemas do processo.
2. Controle antecipado no fluxo de peças: aqui a meta é enviar informações sobre erros ou problemas descobertos num passo anterior ao próximo no processo, assim essa variação pode ser reduzida. Por exemplo, por engano, um filme ASA 200 é colocado com uma situação ASA 100 na câmera. Se esta informação é passada para quem fará a revelação do filme, o efeito do erro na foto pode ser reduzido pelo ajuste dos parâmetros de revelação. Similarmente, medindo-se as propriedades do novo material ou informando ao subsequente passo de fabricação sobre

os problemas descobertos em uma etapa anterior, a variação unidade a unidade no produto final pode ser reduzida.

3. Proteção: aqui a meta é retirar as unidades defeituosas que estão sendo feitas. Em certas situações, o processo de fabricação simplesmente não tem adequada capacidade, isto é, mesmo sobre condições de operação normais o processo produz um grande número de produtos defeituosos. Então, "como última alternativa", todas as unidades produzidas podem ainda ser medidas e as defeituosas descartadas ou reparadas para prevenir o envio das mesmas ao consumidor.

Recomenda-se, então, basicamente, as cartas de controle estatístico do processo, como principal meio para se avaliar o processo, mas deixa-se indicado as idéias de Taguchi para utilização durante o controle da produção (controle de qualidade on-line). Torna-se indispensável indicar métodos para o controle do processo por ser o planejamento do controle do processo uma das etapas importantes a ser discutida no planejamento e desenvolvimento do produto e do processo.

Para um maior aprofundamento no controle de qualidade on-line, proposto por Taguchi, recomenda-se o livro "Taguchi, Engenharia de Qualidade em Sistemas de Produção", TAGUCHI et al.(1990), que trata do controle de qualidade na linha por retroalimentação e ilustra o uso da função perda para projeto e avaliação desse sistema de controle; apresenta, também, o estudo do controle de parâmetros do processo na linha para variáveis; fornece conceitos para sistema de controle de qualidade na linha, por atributos, incluindo técnicas para determinação do intervalo ótimo de inspeção e seu efeito sobre a perda de qualidade por item de produção; considera diferentes métodos para aperfeiçoamento de parâmetros de produção, de inspeção e de processo de ajuste para minimizar a perda de qualidade; e, finalmente, discute o uso da manutenção preventiva como meio de aperfeiçoamento de parâmetros do processo de produção para reduzir a perda de qualidade na

produção. Existe também uma série de exemplos para ilustrar conceitos, métodos e aproximações envolvidas.

Sugere-se, do mesmo modo, as bibliografias TAGUCHI (1981) e NAYEBPOUR e WOODALL (1993), para o estudo do controle de qualidade on-line.

O Controle Estatístico do Processo (CEP) possui os seguintes méritos (conforme VOLKSWAGEM (1988)):

1. Aumenta-se a produtividade:

- através do aproveitamento de toda a produção;
- pelo diagnóstico do problema no mesmo instante em que ele aparece;
- evitando-se os reajustes desnecessários;
- tornando-se desnecessário o controle 100% do produto acabado.

2. Diminui-se os problemas de qualidade:

- agindo-se sobre o processo, eliminando causas de defeitos no momento;
- obrigando-se o produto a permanecer dentro de especificações;
- melhorando-se a qualidade média da produção.

3. Melhora-se a qualidade:

- evitando-se a produção de peças defeituosas, e
- ajustando-se o processo para produzir sempre dentro de especificações.

Num estágio mais avançado pode se adotar a Auditoria da Qualidade, onde o sistema difere do controle estatístico de produção pelo seguinte: enquanto no CEP se controla a qualidade das características fabricadas em cada máquina isoladamente, no sistema de auditoria de qualidade se faz o controle completo de todas as características da peça até o estágio pesquisado. Sistema hoje adotado em várias empresas, tal como a VW do Brasil.

Para se obter maiores informações sobre o CEP, bem como a inspeção, indica-se as bibliografias de GRANT e LEAVENWORTH (1972), LOURENÇO (1964), BOWKER (1984) e JURAN (1974). Uma forma moderna de se realizar o controle estatístico do processo é através do modelo automatizado, composto por terminais

coletores de dados, que fornecem em tempo real todas as informações de pré-controle necessárias ao operador. Dispõe de um conjunto de programas em microcomputador que, para uma análise mais completa, trata as informações fornecidas pelos coletores portáteis ou remotos, ou as digitadas diretamente pelo teclado. Este modelo encontra-se à disposição no mercado nacional.

Cabe aqui também indicar a utilização da Manutenção Produtiva Total, que é o envolvimento dos empregados nos trabalhos de prevenção e correção dos defeitos em seus equipamentos. Embora continue existindo uma área encarregada da manutenção, os empregados recebem treinamento para realizar pequenos consertos. O setor de manutenção só é acionado nas situações mais complexas, DE LEON (1991).

Antes de começar o seu trabalho, cada operador faz a limpeza, a lubrificação e o *check list* das máquinas, procurando identificar eventuais problemas. A MPT vem reduzindo custos de manutenção, aumentando a disponibilidade de uso de máquinas e, melhor, obtendo ganhos nos índices de qualidade e produtividade. Sendo que a mesma vem sendo utilizada em empresas como a Aços Villares, Yamaha e Caterpillar desde 1990.

A Yamaha, por exemplo, subordinou a área de manutenção à de produção para aumentar o intercâmbio de informações e agilizar a solução dos defeitos e quebras. Com esse tipo de entrosamento, se passou a considerar o operador de máquinas como o segundo homem da manutenção.

5.2.8 - ETAPA 8 - MATRIZ DE PLANEJAMENTO DA ASSIST. TÉCNICA

Buscando-se a adequação do QFD, as empresas meta deste trabalho, tornou-se necessário a introdução de mais uma etapa neste sistema, a de planejamento da Assistência Técnica.

JURAN(1992) coloca: "é importante salientar que nesta fase (Assistência Técnica), apesar de se aplicar rígidos controles na fase de projeto e produção, alguns produtos defeituosos chegam ao consumidor e também reclamações do produto podem ocorrer, sendo um importante papel do Departamento de Assistência Técnica e Garantia, assim como os distribuidores do produto terem um forte serviço de atendimento às reclamações dos consumidores".

TAGUCHI (1990) diz: "um sistema total envolve o conceito da qualidade e o seu custo durante todas as fases do ciclo de vida de um produto: o seu planejamento, as etapas de projeto, do projeto do processo de produção, do controle do processo de produção, do desenvolvimento de mercado e embalagem, a **manutenção** e a **assistência técnica**".

PHADKE (1989) diz: "Com todos os esforços para controle de qualidade no projeto do produto, projeto do processo e fabricação, alguns produtos defeituosos podem ainda ser adquiridos pelo consumidor. A única maneira de prevenir maior prejuízo para a reputação do fabricante é dar um serviço de campo e compensar o consumidor pela perda causada por um produto defeituoso".

E, baseado também em conversas informais mantidas com gerentes e supervisores, assim como a participação em reuniões do departamento de assistência técnica e garantia, principalmente da empresa Agrale S.A, constatou-se que grande parte dos defeitos apresentados pelo produto, durante o seu uso, são devidos a uma má utilização do mesmo. O mau uso geralmente acontece com as partes novas do produto (melhorias), ou com produtos recém lançados.

A parte defeituosa, ou estragada, é enviada pelo distribuidor, que também presta o serviço de conserto do produto, para o departamento de Assistência Técnica e Garantia. O mesmo, com o auxílio do departamento de projetos, decide se a quebra (problema) foi causada por má utilização do produto ou

por um defeito na fabricação, ou outro problema qualquer. Se a quebra foi causada por uma má utilização do produto, a garantia não cobre a perda, principalmente de partes compradas, pela montadora, de terceiros, gerando uma insatisfação do consumidor.

Em razão disto, propõe-se a matriz de planejamento da Assistência Técnica, que tem como objetivo principal garantir, essencialmente para as partes críticas determinadas na etapa 3 do sistema, que o consumidor tenha uma adequada utilização e manutenção das mesmas.

Uma outra função a ser cumprida nesta etapa é a do departamento de Assistência Técnica e Garantia em enviar ao departamento de projeto o número de ocorrências de reclamações de garantia, assim como a parte (ou peça) que motivou esta reclamação. Sendo que estas informações servirão para realimentar o sistema, para uma nova execução da matriz de planejamento do produto, bem como das etapas posteriores, numa filosofia de melhoramento contínuo.

Pode-se também listar nesta etapa a causa da quebra, utilizando para isso o diagrama causa e efeito, FMEA, Diagrama de Pareto, ou outra ferramenta que se adapte ao caso.

Nesta matriz trabalha-se com as partes críticas relacionando a elas instruções de manutenção e utilização, sendo que os dados de saída serão instruções de manutenção e utilização para se ter o melhor aproveitamento possível destas partes, tentando-se evitar a quebra pelo mau uso ou falta de manutenção das mesmas.

Não se coloca exemplo de utilização desta matriz, devido ao estudo de caso relacionar-se à mesma.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Descreve-se o sistema, neste capítulo, indicando-se uma série de ferramentas auxiliares para se utilizar em conjunto, o que pode ser um pouco difícil em empresas que não adotam o Controle da Qualidade Total. Isto não implica que não se possa usar o mesmo sem a utilização das ferramentas auxiliares, coloca-se estas opções como forma de se facilitar, principalmente, a execução das matrizes de QFD.

O QFD nos possibilita priorizar itens para aplicar as mais diversas ferramentas da qualidade, dependendo do objetivo que se tenha.

Outro aspecto importante a se salientar é o da equipe interdepartamental, que se indica manter durante as etapas de aplicação do método Taguchi. Como exemplo, até o marketing, na priorização de pontos favoráveis à venda, pode mostrar a robustez que foi incorporada ao produto.

Alguma vezes não tem sentido, para algumas partes do produto, ou o produto como um todo, utilizar o método Taguchi devido a várias razões, tais como: já se ter um produto insensível às variações, não haver mais redução da perda, e outros, mas, mesmo assim, pode-se dizer, pelas constatações que se fez através do método, que se tem um produto robusto.

Em relação à Assistência Técnica, uma das principais contribuições que ela dá ao sistema é o retorno das informações do mercado, como forma de novamente poder se incorporar qualidade ao produto, com uma nova execução do sistema.

CAPÍTULO 6 - O ESTUDO DE CASO

6.1 INTRODUÇÃO

Descreve-se a aplicação prática da matriz de planejamento da Assistência Técnica numa Empresa X do polo industrial de Caxias do Sul. A região se destaca nacionalmente pelo grande número de empresas do ramo metal, mecânico e eletrônico que possui, sendo que, através de visitas e sólidos conhecimentos nas empresas da região, nota-se claramente que elas mantêm as mesmas características, com raras exceções.

Principalmente no que diz respeito ao Controle da Qualidade Total, as empresas estão apenas no começo da implantação desta filosofia, sendo que a Marcopolo S/A é a que se encontra num estágio mais avançado.

Desde o início deste trabalho utilizou-se uma empresa que tem uma situação que corresponde à maioria das fábricas montadoras da região, sendo que, a mesma pode utilizar o sistema como um suporte à introdução do Controle da Qualidade Total.

Trata-se neste estudo de caso apenas da matriz da assistência técnica devido principalmente a ser esta matriz uma novidade, e a inviabilidade de se aplicar o sistema como um todo devido a ser um trabalho a longo prazo.

6.2 A EMPRESA X

A Empresa X é a única fábrica montadora que direciona suas atividades para quatro segmentos de produção

diferenciados: tratores, caminhões, motores, motocicletas e ciclo motores.

Apesar da empresa estar dividida em apenas três níveis hierárquicos: direção, gerência e supervisão, existe um grande número de departamentos e operações.

Em um primeiro nível, a Empresa X contém cinco grandes áreas, que são: a Área Financeira e Administrativa, a Área de Vendas e Marketing, a Área Industrial e Suprimentos, a Área Técnica e a Área de Relações Industriais e Relações com o Mercado.

O Departamento de Produção está vinculado à Área Industrial, a Assistência Técnica e Garantia está vinculada a Área de Relações Industriais e Relações com o Mercado e a Área Técnica contém o DENP (Departamento de Engenharia do Produto).

No Departamento de Engenharia do Produto está a operação de projeto de processos de fabricação, operação de projeto de caminhões, operação de projeto de tratores, operação de projeto de motos e motores. Para estas operações conta-se com o apoio técnico de um setor de protótipos, da oficina e testes de campo, dos laboratórios de instrumentação, simulação e dinamometria. Além disso, dispõe-se também da biblioteca e da documentação técnica.

Dentro de cada operação de projeto tem-se o desenvolvimento de fornecedores e a documentação técnica, assim como os analistas de projetos, os projetistas e os estagiários, além do supervisor.

Este trabalho visa o inter-relacionamento de todas as grandes áreas da empresa, com a participação de funcionários de todas as áreas na execução do trabalho.

Mais especificamente, para o estudo de caso, nos restringiremos à Operação de Projeto de Caminhões (OPCA), Assistência Técnica e Garantia, Vendas e Marketing, assim como Oficina e Testes de Campo.

6.3 APLICAÇÃO PRÁTICA

O presente trabalho, desde a sua concepção, baseou-se na Empresa X, devido, principalmente, a se conhecer profundamente o sistema produtivo da mesma e à facilidade que se encontrou, inicialmente, para a obtenção de dados da referida empresa, assim como o tipo de relacionamento mantido com ela.

Durante a execução do trabalho, notou-se que as características da Empresa X se assemelhavam em muito às outras fábricas montadoras situadas no polo industrial de Caxias do Sul e, numa visão ainda mais abrangente, constatou-se que estas características se mantinham para a maioria das fábricas montadoras nacionais. Então, expandiu-se o trabalho para todas as fábricas montadoras nacionais.

Obviamente, uma aplicação prática que não envolvesse a Empresa X não teria sentido, pelo motivo principal de se originar, a partir da mesma, a idéia central do trabalho.

Tinha-se em mente, antes de iniciar o trabalho, obter uma melhor utilização da Operação de Assistência Técnica e Garantia. Existiam muitas reclamações de garantia e, semanalmente, haviam reuniões envolvendo o pessoal de projeto e Assistência Técnica para a avaliação das partes, as quais se reclamava a garantia. Avaliava-se o dano causado na peça decidindo-se se o mesmo era por má utilização do produto, problema de projeto, problema de fabricação da peça, problema de montagem, e outros, sendo que, grande parte dos problemas que ocorriam, eram por má utilização do produto.

Na busca de ferramentas que resolvessem principalmente esse problema, redução do número de reclamações de garantia, viu-se a enorme necessidade de se incorporar qualidade ao produto desde a sua concepção até a utilização pelo consumidor final, sendo que haveria, também, a necessidade de se obter um produto robusto aos fatores que afetam o seu desempenho.

O sistema proposto cobre todas as fases do ciclo de vida do produto que, segundo TAGUCHI (1990), são: planejamento, projeto, projeto do processo, projeto do controle do processo, desenvolvimento do mercado e embalagem, manutenção e assistência técnica.

Todas as etapas propostas do sistema encontram-se na bibliografia citada neste trabalho, com exemplos de aplicação e estudos de casos, menos a etapa de planejamento da Assistência Técnica. Além disso, a aplicação do sistema é um trabalho a ser realizado a longo prazo, portanto, restringe-se à aplicação prática do mesmo a Etapa 8, Planejamento da Assistência Técnica.

6.3.1 A APLICAÇÃO

Tendo em vista a empresa já ter alguma experiência em Análise do Valor, adotou-se um plano de trabalho semelhante, que é proposto por KING (1987), adequando o mesmo ao estudo de caso. Uma consequência desta atitude, é que já fica também estabelecido (ou sugerido) um plano de trabalho para a execução de todo o sistema.

As fases que compõem este plano de trabalho são as seguintes:

FASE 1 - Organização;

FASE 2 - Descritiva;

FASE 3 - Rompimento, e

FASE 4 - Implementação.

A seguir descreve-se, em passos seqüenciais, o trabalho realizado em cada fase e as ferramentas utilizadas para a execução da matriz de planejamento da assistência técnica.

A. FASE 1 - ORGANIZAÇÃO

Em contato mantido com o gerente e supervisores do DENP (Departamento de Engenharia do Produto), da Empresa X, optou-se por fazer o estudo na Operação de Projeto de Caminhões. Da linha de produtos, os caminhões são os que vêm recebendo maior atenção por parte da empresa, pois devido a faixa de mercado que ele atua, caminhões leves para cargas rápidas, é o produto que, apesar dos concorrentes (Ford, GM, Volkswagen, Puma e até importados como o KIA), apresenta a maior possibilidade de crescimento de vendas.

Seguindo esta linha de pensamento, opções deste produto estão sendo colocadas no mercado, com variações entre carga útil e modo de utilização da carroceria. Cabe também salientar aqui que o chassi dos caminhões possui grande penetração no mercado. Vende-se o chassi para outras montadoras realizarem o encarroçamento, com carrocerias homologadas pela Empresa X, para as mais diversas utilizações (ambulâncias, furgões, microônibus, guinchos, motor-home, e outros).

Definiu-se também que a equipe de QFD seria composta por pessoas do projeto de caminhões (2), assistência técnica e garantia (2), testes de campo (1) e vendas (1).

Então se trabalharia com o caminhão modelo 4000 D, que em relação aos outros caminhões, apresenta as seguintes aperfeiçoamentos: o chassi reto, suspensão dianteira com molas parabólicas e barra estabilizadora, freio a ar tipo "S-CAM", freio de estacionamento spring brake, painel e pára-choque dianteiro com novo desing, melhor ergonomia, pedais suspensos, ventilação forçada, novo volante e pára-choque traseiro moderno com sinaleiras e placas embutidas. Além disso, sua capacidade de carga é maior (4000 Kg de carga útil) que os anteriores modelos da linha.

Dentre estas melhorias feitas no caminhão, se trabalharia com uma delas para o planejamento da Assistência

Técnica, sendo que o objetivo central seria garantir um bom uso pelo consumidor final das novas vantagens que estavam sendo colocadas a sua disposição.

B. FASE 2 - DESCRITIVA

Antes de iniciar o trabalho, propriamente dito, mantém-se um contato informal e particular com cada pessoa que irá realizá-lo. É colocado de maneira geral qual o objetivo do mesmo, o que é o desdobramento da função qualidade, entre outras coisas, e tenta-se conseguir a participação das pessoas de forma espontânea. Deu-se preferência a pessoas que já haviam trabalhado com Análise do Valor ou nos Círculos de Controle da Qualidade (CCQ), já que seria mais fácil para utilizar a metodologia e também as ferramentas auxiliares.

Devido a características do estudo que se estava realizando, os principais pontos a serem discutidos nesta fase ficaram restritos a: definição de qual das melhorias seria priorizada, quais seriam as partes críticas para uma assistência técnica e quais os aspectos que estariam relacionados à assistência técnica e garantia destas partes.

Após novas colocações sobre QFD, algumas ferramentas auxiliares e assistência técnica à equipe, em uma primeira reunião, facilmente chegou-se à conclusão de que o novo sistema de freio deveria ser o alvo do trabalho. Os principais aspectos que levaram a esta conclusão é ser o sistema de freio a mais importante modificação no caminhão. Isto na ótica dos revendedores, a maioria pertence ao próprio grupo da Empresa X, projetistas e pessoal da assistência técnica.

O caminhão 4000 D possui freio a tambor nas quatro rodas acionado por um sistema "S-CAM" pneumaticamente dando ao mesmo maior segurança e conforto nas paradas. O freio de

estacionamento das rodas traseiras é acionado pelo sistema "S-CAM" por Spring Brake e desacionado por pressão pneumática, isso faz com que o veículo, numa eventual falta de pressão no sistema, permita que haja um bloqueio automático das rodas traseiras. O sistema Spring Brake, com atuação diretamente no "S-CAM", em veículos leves, é uma novidade.

Como o sistema de freio é comprado, sugere-se, então, a participação na equipe de um membro da empresa fornecedora do sistema.

Na continuação do trabalho realizado pela equipe, tratou-se de priorizar as peças ou conjuntos do sistema de freio que seriam importantes para a realização do planejamento da assistência técnica.

Classificou-se, então, as peças ou conjuntos, pela importância no funcionamento da montagem a que pertencem, dentro das seguintes condições:

- (1) SEGURANÇA - peça ou conjunto cuja avaria pode causar acidentes;
- (2) CRÍTICA - peça móvel ou conjunto móvel cuja avaria pode prejudicar ou paralisar o conjunto;
- (3) IMPORTANTE - peça ou conjunto cuja avaria vai prejudicar ou paralisar o conjunto parcialmente;
- (4) SECUNDÁRIO - peça cuja avaria não vai prejudicar a função essencial do conjunto.

As peças ou conjuntos que irão compor a matriz serão as consideradas de segurança, as críticas e as importantes. Foram incluídas nestes itens as seguintes peças ou conjuntos:

- SEGURANÇA: . Todos os conjuntos de tubo;
 . Câmaras de freio;
 . Reservatório de ar.
 . Válvula do freio de serviço
- CRÍTICOS: . Conjunto do Patim
 . Eixo expensor
- IMPORTANTES: . Mola de retenção;
 . Mola de retorno;

- . Conjunto da aranha;
- . Conjunto suporte do eixo expensor;
- . Compensador de freio;
- . Tambores de freio.

Posteriormente lista-se indicações de manutenção e inspeção, assim como considerações de montagem e desmontagem, que seriam importantes em relação às peças ou conjuntos classificados como de segurança críticos ou importantes.

Logo de início surge a primeira recomendação, feita pelo representante do fabricante, sobre o amianto. É colocado que a maioria das lonas de freio contém fibras de amianto, e que é importante que as pessoas que mexem com as lonas saibam do risco da exposição ao amianto e as precauções a serem tomadas.

Depois coloca-se a importância da inspeção de peças antes de se iniciar uma montagem, após um desmonte do sistema para manutenção ou troca de peças. É importante que sejam inspecionadas todas as peças antes de se iniciar a montagem. Deve-se realizar uma checagem de todas as peças quanto ao desgaste, deve-se trocar ou consertar peças defeituosas, conforme o necessário. A substituição destas peças pode prevenir falhas do conjunto mais tarde.

A verificação dos tambores de freio quanto à ocorrência de trincas, superaquecimento e manchas de aquecimento, assim como a checagem do tamanho do seu diâmetro interno, também é importante.

Com relação à manutenção é colocado que se recomenda uma lubrificação do freio, para uso rodoviário, a cada 160.000 km e, para uso fora de estrada, a cada quatro meses no máximo. Sendo que a troca de lonas também deve ser realizada sempre que as mesmas atingirem uma espessura mínima.

Para a manutenção preventiva, uma lista para regulagem periódica, limpeza, inspeção e lubrificação do equipamento de freio precisa ser feita de acordo com a experiência e tipo de operação. Freios devem ser regulados tão freqüente quanto necessário, para correta operação e segurança.

As regulagens devem dar a folga correta entre a lona e o tambor, curso correto da haste da câmara e balanceamento correto entre os freios.

Parte-se agora para a elaboração da matriz de planejamento da assistência técnica, a qual se realizará na próxima fase.

C. FASE 3 - ROMPIMENTO

Em primeiro lugar é feito então o diagrama de afinidades para as partes consideradas de segurança, críticas ou importantes, colocando-as em grupos de mesma afinidade para uma melhor organização do trabalho. (ver figura 6.1)

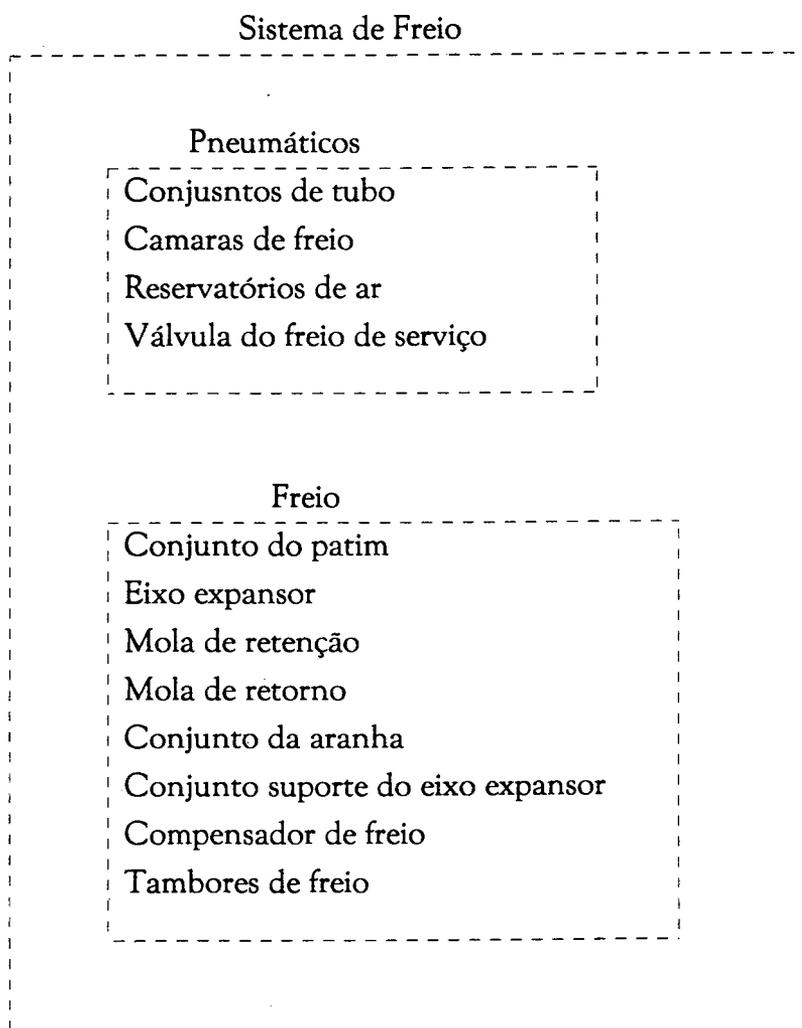


Fig. 6.1 - Diagrama de Afinidades para o Sistema de Freio

Com os requisitos de assistência técnica é feito um trabalho semelhante. A diferença é que foi feito um detalhamento de cada item, para se colocar de forma mais clara na matriz, ver figura 6.2. É importante salientar que foi constatado que o sistema, em que se faz o estudo, não apresenta nenhuma recomendação importante, sobre uma má utilização, enquanto o mesmo estiver em serviço. Os maiores cuidados que se deve ter para uma eficaz utilização do sistema diz respeito apenas a sua conservação e prevenção de quebras.

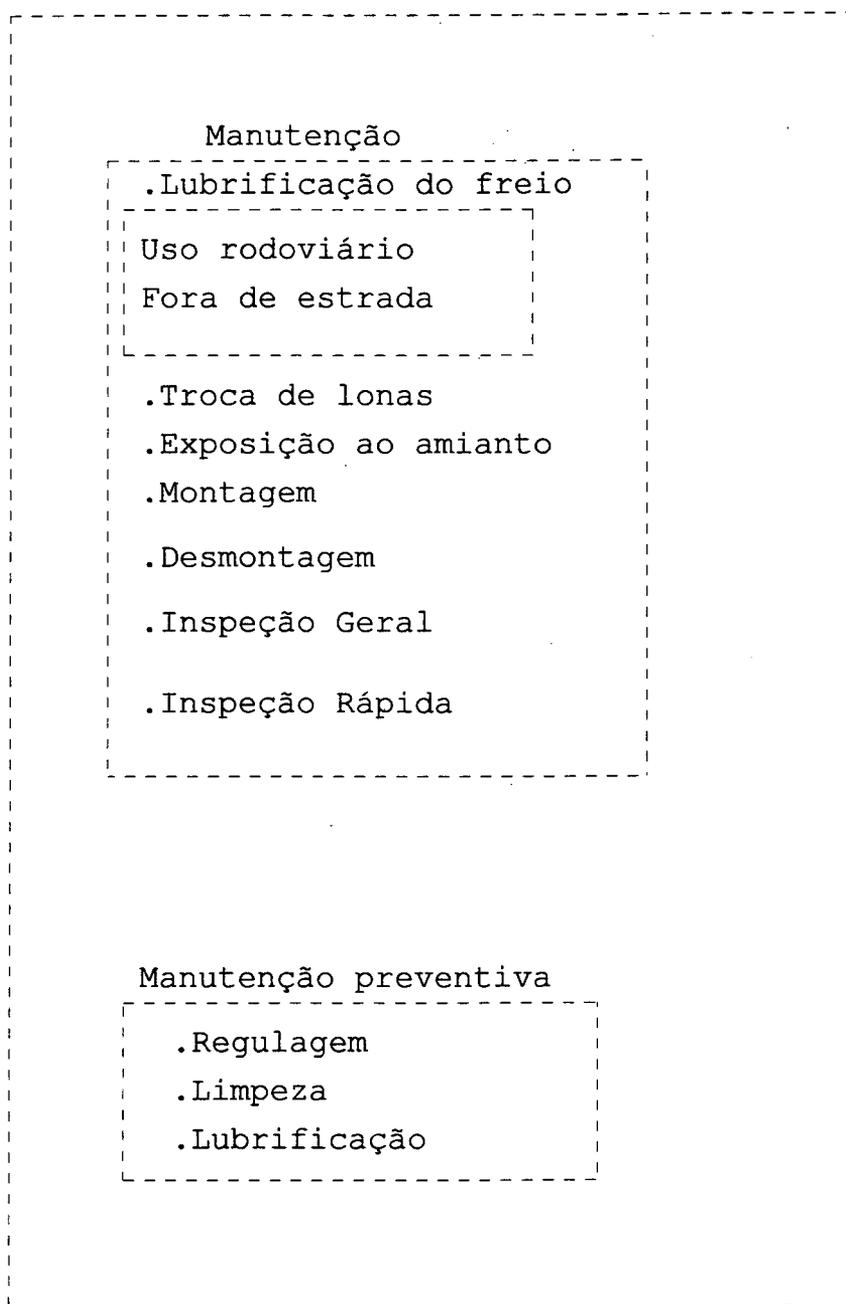


Fig. 6.2 - Diagr. de Afinid. para os Requisitos de Ass. Técnica

O grau de importância para cada peça ou conjunto foi dado a partir da classificação obtida através da questão anterior e, também, pelo grau de dificuldade numa eventual troca ou conserto. O grau de importância está colocado à direita logo após o nome da peça ou conjunto.

O próximo passo consistiu em executar a matriz de relacionamento entre as partes críticas, sob a ótica de uma assistência técnica, com os requisitos de assistência técnica.

A maioria das decisões de qual relação existe entre uma peça ou conjunto e os requisitos, foi tomada em cima das recomendações do fabricante do sistema, nos históricos e experiência que o mesmo tinha em relação ao uso do sistema em outros caminhões (mais especificamente caminhões pesados).

Calculou-se então a importância de cada requisito, para se estabelecer prioridades, e estipulou-se também os objetivos, em termos de o momento certo para se executar ou cumprir determinado requisito.

A matriz de planejamento da assistência técnica é mostrada abaixo:

D. FASE 4 - IMPLEMENTAÇÃO

Através da matriz pode-se visualizar que o requisito inspeção, tanto na manutenção como na manutenção preventiva, é o mais importante, seguido da regulagem preventiva e da lubrificação do freio (fora de estrada).

É importante que se inspecione cuidadosamente todas as peças. Deve-se checar todas as peças quanto ao desgaste, consertar ou trocar peças com defeito, conforme necessário. As principais verificações a serem feitas são:

- da aranha do freio quanto a furos desgastados pelos pinos de ancoragem, trincas e alinhamentos corretos;
- do suporte da câmara do freio quanto a fraturas na solda, trincas e alinhamento correto;
- dos patins quanto à deformação dos alojamentos para os pinos de ancoragem e roletes, ferrugem, furos para rebites dilatados, fratura nas soldas e corretos alinhamentos;
- dos eixos expansores por trincas, desgaste e corrosão, e
- dos tambores pela ocorrência de trincas, superaquecimento e distorções, assim como se deve medir o diâmetro dos tambores.

A regulagem deve ser feita com cuidado. Deve-se compensar o desgaste das lonas, testar o veículo para se assegurar que o sistema de freio opere corretamente, assim como fazer desacelerações de 60 a 30 km/h para ajustar o assentamento das lonas, freadas a partir de 30 km/h com 50% da pressão do ar da linha e freadas a partir de 30 km/h com pressão total do ar da linha.

Definiu-se então como principais indicações que se utilizaria um adesivo, em local ainda não definido, na cabina, destacando o item de manutenção, inspeção. Seria colocada a importância do mesmo para o bom desempenho do freio, assim como os principais itens a serem inspecionados e o que precisaria ser verificado em cada item. Também ressalta-se que durante o

curso que é dado sobre a assistência técnica do caminhão à rede de distribuidores e oficinas especializadas, poder-se-ia dar maior ênfase aos itens aqui destacados, principalmente à regulagem do freio, que é um dos pontos críticos na sua manutenção.

É lembrado também que a própria operação de montagem de caminhões, juntamente com o controle de qualidade, deveria dar uma maior atenção ao item regulagem do freio já como forma de prevenir um mau desempenho do mesmo.

6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma importante questão que se discutiu, foi o relatório das ocorrências de garantia. Já circula entre os departamentos da empresa um relatório mensal no qual constam as ocorrências com a descrição da peça, o tipo de item, e o número de reclamações. Sugere-se que estes relatório deveriam começar a ser semanais relatando cada reunião da garantia. E que mensalmente o relatório dos distribuidores e oficinas especializadas também poderiam circular resumidamente entre os departamentos, já que o contato dos mesmos é direto com os usuários do produto. Destacou-se isto como fundamental no trabalho, e o DENP (Departamento de Engenharia do Projeto) também confirmou esta necessidade assim como a equipe.

Quanto à utilização do método nota-se que cada empresa possui particularidades decisivas para o trabalho. Aspectos como motivacionais, experiências frustradas com outras ferramentas da qualidade pelas mais variadas causas, interferem diretamente na utilização ou implantação da matriz ou do sistema.

Pode-se dizer ainda que cada empresa apresenta certas particularidades que direcionam o trabalho ou as discussões. E,

tem que se sofrer uma avaliação à inclusão ou não de membros de outras empresas na execução do trabalho, quando o mesmo se relaciona a partes compradas. Pode-se incluir a participação destas pessoas num estágio mais avançado das discussões. Certos vícios trazidos como "nossa empresa faz assim" ou "não se faz isto", têm contribuição discutível na realização do trabalho.

Os méritos e os benefícios trazidos são indiscutíveis já que o problema da má utilização gera insatisfação e perda de qualidade quando ocorre a quebra. Exemplos clássicos de mau uso do produto foram citados nas reuniões, tais como: excesso de carga nos caminhões, carga mal distribuída, inexistência de manutenção preventiva por parte do usuário, utilização do veículo em terrenos desfavoráveis, alterações no motor, soldagem de novas partes na carroceria, e outros .

CAPITULO 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho levam em consideração tanto o estudo de caso como a projeção que se fez em cima do mesmo para a aplicação do sistema, na parte que diz respeito ao QFD. Em relação ao método Taguchi, as conclusões que se tirou estão centradas em cima de necessidades das fábricas para utilização do método e potencial de utilização nas mesmas.

Para empresas que na sua grande maioria buscam solucionar seus problemas de qualidade ainda na fase de fabricação, falar dos benefícios que trariam uma abordagem que busca a qualidade desde o projeto até o consumidor final não tem sentido. Qualquer passo que se dê na direção da qualidade desde o projeto ou para a integração entre projeto e fabricação já é uma vantagem.

Notou-se durante a execução deste trabalho que, na fase de projeto, deve-se centrar os esforços numa execução eficaz do método Taguchi, por se acreditar ser neste método que está a maior contribuição para a melhoria da qualidade. O QFD tem uma função importante, que é de identificar itens de importância, focalizando o campo de aplicação de outras ferramentas de melhoria. Desta forma, o QFD atua como um mapa que identifica onde e quando deve ser aplicado o método Taguchi e outras técnicas como as de Análise de Falhas.

O CEP (Controle Estatístico do Processo) aparece muito tarde no processo de desenvolvimento do produto para gerar alguma melhoria significativa, mas deve-se utilizar o CEP para manter determinado nível de qualidade, ajudando a monitorar os ganhos conseguidos e detectar condições inesperadas.

É importante se ressaltar também que o QFD mostra resultados a longo prazo, enquanto que o método Taguchi é a curto prazo. Este fato influencia o aspecto motivacional, pois a aplicação inicial deve atingir resultados imediatos e visíveis para que seja mantido o interesse.

Na aplicação da matriz de planejamento da Assistência Técnica notou-se que os trabalhos foram lentos. Para aplicação do sistema, sugere-se não escolher um produto como um todo, mas sim um sistema ou uma montagem para facilitar os trabalhos, principalmente nas primeiras utilizações do mesmo. Geralmente as fábricas montadoras possuem produtos complexos, o que dificultaria em muito a realização dos trabalhos.

Uma provável deficiência pela utilização de uma abordagem menos abrangente do QFD é a não inclusão do desdobramento dos custos, o que em parte é suprida pelo método Taguchi. O método traz as considerações de custo para a fase de projeto onde grandes benefícios podem ser tirados. E, também, se integra custo com as funções de engenharia. Porém, deve-se frisar que é importante ter-se claramente a forma como são calculados os custos na empresa. O cálculo do custo deve ser minucioso, envolvendo todos os fatores que afetam o mesmo.

E, mais especificamente, para a aplicação do método Taguchi, o sistema de medição da empresa necessita estar muito bem aferido. Deve-se ter uma capacidade de medição com um erro baixo e com equipamentos confiáveis, para que se possa efetivamente medir a variabilidade.

Enfim, o meio em que o sistema estará inserido é vital para que o mesmo possa ser explorado em toda a sua potencialidade. Como cada empresa apresenta particularidades que raramente se mantêm para as outras, é importante, apesar do sistema abranger todas as fábricas montadoras, fazer pequenos ajustes. Como exemplo, temos a própria Empresa X, que já tinha experiência em Análise do Valor e Círculos de Controle de Qualidade e, então, procurou-se no estudo de caso aproveitar-se dessa experiência adquirida.

O aspecto motivacional e um anterior bem sucedido ou não uso de outras ferramentas da qualidade é também fundamental para um bom trabalho com o sistema proposto.

Em relação à Assistência Técnica, sentiu-se que era um setor carente de um maior envolvimento, os profissionais desta área se mostraram muito interessados num trabalho para a obtenção da qualidade desde a concepção do produto e que também os envolva. Segundo os mesmos, seu envolvimento com o consumidor e distribuidores é direto e, muitas vezes, faltam dados, argumentos e maior entendimento sobre o produto para uma mais eficaz utilização do mesmo. As carências ou pontos fortes são visualizados imediatamente por estes profissionais quando o produto é colocado à disposição do mercado.

O pós venda é decisivo na estratégia de captação de consumidores da empresa. A disponibilidade de profissionais para atendimento às reclamações dos clientes e a disponibilidade de peças e oficinas especializadas é vital na hora da opção por um produto ou outro pelos consumidores. E o contato direto com os consumidores é a melhor forma de se obter as informações referentes à repercussão do produto no mercado, seus pontos fracos e fortes.

7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho, por abranger todo o sistema produtivo da empresa, durante a sua realização, poderia ter incluído muitas questões que, devido a vários fatores, não foram. Coloca-se, então as principais questões que foram levantadas, em forma de recomendações.

Apresenta-se também, como recomendações, aspectos relacionados com as ferramentas que se usou, que ainda não foram pesquisados ou foram pouco explorados.

Dentro deste contexto, as principais recomendações são:

. Executar o QFD e o método Taguchi através da Programação Orientada ao Objeto, ferramenta que proporcionaria criar um modelo computacional para a realização do QFD e do Delineamento de Experimentos;

. A partir da Matriz de Planejamento do Controle do Processo, fazer-se um estudo para aplicação do método Taguchi no controle do processo ("on-line") em fábricas montadoras. O objetivo do controle de qualidade na linha é produzir produtos uniformes ajustando processos de acordo com a observação obtida a partir de processos e/ou produtos fabricados. Baseado nesta informação, deve-se planejar a solução para minimizar a perda da qualidade ou custo;

. Fazer um estudo para o cálculo de custos de fabricação direcionando a utilização do mesmo para se realizar o cálculo da perda imposta à sociedade no momento em que o produto é enviado ao mercado;

. Criar uma matriz descritiva, para o Desdobramento da Função Qualidade, que leve em consideração recomendações ao usuário de como utilizar o produto após o término de sua vida útil (sucata). Existe uma preocupação muito grande, hoje em dia, com o meio ambiente e o destino que o produto vai ter após o término de sua vida útil. Isto também passou a ser um fator determinante da compra ou não do produto por parte do consumidor;

. Aplicar o método Taguchi no setor de serviços, como por exemplo Saúde Pública, onde vários fatores influem na propagação ou não de doenças ou epidemias, e a minimização da variação destes fatores, ou o seu controle, pode evitar maiores danos à sociedade;

. Utilizar o Desdobramento da Função Qualidade no Planejamento Estratégico das fábricas montadoras. Isto pode parecer um pouco complexo, mas, segundo STANGE e PEREIRA

(1995), não se pode resolver os problemas atuais das empresas com os mesmos métodos que a conduziram a estes problemas;

. A utilização das técnicas de Análise de Falhas (FMEA, FTA, e outras) com maior ênfase na execução do sistema proposto, principalmente na fase de projeto. Grande parte dos esforços de melhoria da qualidade nas indústrias japonesas vem do uso de técnicas de Análise de Falhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAO, Y.. **Quality Function Deployment: integrating customers requirements into product desing**. Cambridge: Massachustes, Productivity Press, 1988.
- BARKER, Thomas B.. Quality Engineering By Desing: Taguchi's Philosophy. **Quality Progress**, December. 1986.
- BARKER, Thomas B., **Quality by Experimental Desing**. New York: Marcel Dekker, INC., 1985.
- BOWKER, A. H. & LIEBERMAN, G. J.. **Engineering Statistics**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1984.
- DE LEON, G. P. A Última Volta do Parafuso. **Revista Exame**. Setembro, 1991.
- EUREKA, William H. e KYAN, Nancy. **QFD Perspectivas Gerenciais do Desdobramento da Função Qualidade**. Rio de Janeiro: Qualimark, 1992.
- FORTUNA, R.. Beyond Quality: Taking SPC Upstream. **Quality Progress**, p. 23-28, junho, 1988.
- FIATES, Gabriela G. S.. A Utilização do QFD Como Suporte a Implantação do TQC em Empresas do Setor de Serviços. **Dissertação submetida a Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de mestre em Engenharia de Produção**. SantaCatarina: UFSC, 1995.

FUCHS, Edward. Quality: Theory and Practice. **AT&T Technical Journal**, NJ, v. 65, n. 2, p. 4-9, mar-abr 1986.

GODFREY, A. B.. The History and Evolution of Quality and AT&T. **AT&T Technical Journal**, v. 65, n. 2, p. 9-19, mar-abr 1986.

GRANT, E. L. & LEAVENWORTH, R. S.. **Statistical Quality Control**. New York, McGraw-Hill, 1972.

HAUSER, John & CLAUSING, Don. The House of Quality. **Harvard Business Review**, maio/junho 1988.

IRESON, W. G. and GRANT, E. L.. **Handbook of Industrial Engineering and Management**. New Jersey: Prentice-Hall, 1955.

IKEZAWA, Tatsuo. **Quality Control in the Stage of Sales and After-Service**. Tokyo: Japanese Standards Association, 1994.

INTERNET. Desing of Experiments, QC and Taguchi Methods. **Texto explicativo sobre o método Taguchi a disposição dos usuários da Internet**, JTEC/WTEC, Hyper Librarian, agosto, 1995.

JURAN, J. M. and GRYNA, F. M.. **Quality Planning and Analysis**. New York: MacGraw Hill, 1970.

JURAN, J. M.. **Quality Control Handbook**. New York: MacGraw Hill, 3. Ed, 1974.

JURAN, J. M.. **A Qualidade desde o Projeto: novos passos para planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Ed. Pioneira, 1992.

KACKAR, Raghu N.. Taguchi's Quality Philosophy: Analysis and Comentary. *Quality Progress*, december, 1986.

KACKAR, Raghu N. Off-Line Quality Control, Parameter Desing and the Taguchi Method. *Journal of Quality Technology*. v. 17, n. 4, p. 176-188, october, 1985.

KANO, N.. Attractive Quality and Must-be Quality. Japan: *Quality Journal of the Japanese Society for Quality Control*, v. 14, p. 39-48, 1984

KING, Bob. *Better Designs in Half the Time*. Massachustes: GOAL/QPC, 1987.

KOGURE, M. & AKAO, Yoji. Quality Function Deployment and CWQC in Japan. *Quality Progress*, outubro, 1983.

LOPES, F. G.. Aplicação de QFD, FMEA e TAGUCHI no Desenvolvimento de Produtos Injetados. *Trabalho submetido a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para graduação em Engenharia de Produção*. São Paulo: USP, 1991.

LOURENÇO FILHO, R.B.. *Controle Estatístico da Qualidade*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1964.

MADDUX, Gary A.; AMOS, Richard W. and WYSKIDA, Alan R. Organizations Can Apply Quality Function Deployment As Strategic Planning Tool. *Industrial Engineering*, p. 33-37, September, 1991.

MARTORANO, E. L.. O QFD no Projeto e Desenvolvimento do Produto com Ênfase na Abordagem de Quatro Fases. *Dissertação submetida*

a Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de mestre em Engenharia de Produção. Santa Catarina: UFSC, 1993.

MARTORANO, E. L.. O QFD no Processo de Projeto e Desenvolvimento de Produtos com Ênfase na Abordagem das Quatro Fases. **Artigo apresentado como versão preliminar da dissertação de mestrado.** UFSC, 1993.

MONTGOMERY, Douglas C.. **Desing e analysis of experiments.** New York: John Wiley & Sons, 1983.

MOURA, Eduardo. **As Sete Ferramentas Gerenciais da Qualidade: implementando a melhoria contínua com maior eficácia.** São Paulo: MAKRON Books, 1994.

MOURA, Paulo C. **O Brasil e a Empresa nos Anos 90.** São Gonçalo: Laboratórios B. Braun S/A, 1990.

NAYEBPOUR, M. R. and WOODALL, W. H. An Analysis of Taguchi's on-line Quality - Monitoring Procedures for Attributes. **Technometrics**, v. 35, n. 1, February, 1993.

ROSS, Phillip J.. **Aplicações das Técnicas de Taguchi na Engenharia da Qualidade.** McGraw-Hill Ltda. São Paulo. 1991.

STANGE, P. e PEREIRA, M. G. Quality Function Deployment - QFD - **Artigo apresentado na disciplina Controle de Qualidade na Prestação de Serviços do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção.** UFSC, 1995.

SULLIVAN, L. Quality Function Deployment. **Quality Progress**, junho, 1986.

TAGUCHI, Genichi. **System of Experimental Desing**. New York: UNIPUB/Kraus International Publications, 1988. V. 1 e 2.

TAGUCHI, G. **On-line Quality Control During Production**. Japanese Standards Association, Tokyo, 1981.

TAGUCHI, G.; ELSAYED, A. E. and HSIANG, T.. **Taguchi Engenharia de Qualidade em Sistemas de Produção**. São Paulo: MacGraw Hill, 1990.

VOLKSWAGEM DO BRASIL, **Técnicas de Qualidade**, MKS-Engenharia da Qualidade Ltda, 1988.

YUKIMURA, Carlos David López, Eficiência e Qualidade no Projeto do Produto com Ênfase no Método Taguchi, **Disertação submetida a Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de mestre em Engenharia de Produção**. Santa Catarina: UFSC, 1991.

BIBLIOGRAFIA

ANTONY, Jiju and Kaye, Mike. A Methodology for Taguchi Design of Experiments for Continuous Quality Improvement. **Quality World TS**, p. 98-102, september, 1995.

BARKER, Thomas B.. **Engineering Quality by Design: Interpreting the Taguchi Approach**. New York: Marcel Dekker, INC, 1990.

BARDENSTEIN, R. T. and GIBSON, G. J.. A QFD Approach to Integrated Test Planning. Nashville: **ASQC Quality Congress Transactions**, p.552-558, 1992.

BENJAMIN, Perakath C., ERRAGUNTULA, Madhav and MAYER, Richard J.. Using Simulation for Robust System Design. **Simulation**, p. 116-127, august 1995.

CSILLAG, J. M.. **Análise do Valor: engenharia do valor, gerenciamento do valor, redução de custos, racionalização administrativa**. São Paulo: Atlas, 1985.

DIRCEU, M.. **A Estratégia para a Competitividade**. São Paulo: Artes Gráficas, 1989

FERREIRA, Arnaldo Brazil. Produto Total e Projeto Total: Processo para a Qualidade do Projeto a partir da Voz do Cliente. **Tese submetida ao programa de Pós Graduação da Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, para obtenção do título de Doutor**. São Paulo: USP, 1993.

GIL, A. L.. **Qualidade Total nas Organizações**. São Paulo: Atlas, 1992.

GITLOW, H. S.. **Planejando a Qualidade, a Produtividade e a Competitividade**. Rio de Janeiro: QualityMark, 1993.

GOH T. N. and ROY S. K.. Application of Taguchi's Orthogonal Array in a Material Screening Experiment. **Quality Assurance**, v. 15, n. 1, p. 10-13, march, 1989.

GOLOMSKI, William A.. Reliability & Quality in Design. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 44, n. 2, p. 216-219, june, 1995.

GRIFFIN, A.. Evaluating QFD's use in US firms as a process for developing products. **Journal Production Innovation Management**. p. 171-186, september, 1992.

GUZY, M. C.. The Learner as Customer: QFD - designed education. Nashville: **ASQC Quality Congress Transactions**, p. 465-471, 1992.

HAMADA, Michael. Using Statistically Designed Experiments to Improve Reliability and to Achieve Robust Reliability and to Achieve Robust Reliability. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 44, n. 2, p. 206-215, june, 1995.

HUGE, E. C. e ASNDERSON, A. D.. **Guia para Exelência de Produção: novas estratégias para empresas de classe mundial**. São Paulo: Atlas, 1993.

IKEZAWA, T. **Quality Assurance**. Tokio: Japanese Standards Association, JCA Library, 1994.

JOINER ASSOCIATES INC MANAGEMENT CONSULTANTS. **Times da Qualidade, Como Usar Equipes para Melhorar a Qualidade**. Rio de Janeiro: QualityMark, 1993.

KIHARA, Takami, HUTCHINSON, Charles E. and DIMANDESCU, Dan. Designing Software to the Voice of the Customer: New Uses of QFD and Quantification Method of Type III for Decomposition of the Requirements. **Quality Engineering**, v. 7(1), p. 113-137, 1994-95.

KLEINSHMIDT, Elko J. and COOPER, Robert G.. A Relative Importance of New Product Success Determinants - Perception versus Reality. **R&D Management**, p. 281-290, march, 1995.

KRAUSE, F. L.; ULBRICH, A. and WOLL, R.. Methods for Quality-Driven Product Development. **Annals of the CIRP**, p. 151-154, v. 42, 1993.

MANN, G. A. and HALBLEIB, L. L.. The Application of QFD to a National Security Issue. Nashville: **ASQC Quality Congress Transactions**, p. 506-512, 1992.

MAZUMDAR, S. K. and HOA, S. V. Application os Taguchi Method for Process Enhancement of On-Line Consolidation Techique. **Composites**, v. 26, n. 9, 1995.

MB-3160. **Sistema de Freio para Veículos Rodoviários - Ensaio de Desempenho.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

MB-3161. **Sistema de Freio para Veículo Rodoviários - Medição do tempo de resposta dos veículos equipados com freio pneumático - Desempenho.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

MCEWAN, W., BELAVENDRAM, N. and ABOU-ALI, M.. Improving Quality Through Robustisation. **Quality Forum**, v. 18, n. 2, p.56-61, june, 1992.

NB-1253. **Desempenho de Sistemas de Freio para Veículos Rodoviários.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

NB-1255. **Desempenho do Sistema de Freio para Veículos Rodoviários.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

NB-9000, ISO 9000. **Normas de Gestão da Qualidade e Garantia da Qualidade - Diretrizes para seleção e uso.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990.

NB-9001, ISO 9001. **Sistemas da Qualidade - Modelo para garantia da Qualidade em projetos/desenvolvimento, produção instalação e assistência técnica.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990.

NB-9002, ISO 9002. **Sistemas da Qualidade - Modelo para garantia da qualidade em produção e instalação.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990.

NB-9003, ISO 9003. **Sistemas da Qualidade - Modelos para garantia da qualidade em inspeção e ensaios finais.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990.

NB-9004, ISO 9004. **Gestão da Qualidade e Elementos do Sistema de Qualidade - Diretrizes.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990.

PALADINI, E. P.. **Controle de Qualidade: uma abordagem abrangente.** São Paulo: Atlas, 1990.

RAMBERG, J. S.; PIGNATIELLO, J. J. and SANCHEZ, S. M.. A Critique and Enhancement of the Taguchi Method. Nashville: **ASQC Quality Congress Transactions**, p. 491-498, 1992.

SELIG, P. M.; POSSAMAI, O. e Santos, M. J.. Análise de Valor no Contexto do Usuário. **Artigo apresentado na disciplina de Análise Funcional do programa de pós-graduação em Engenharia de Produção**, Florianópolis: UFSC, 1993.

SPENGLER, M. L.. Creative Problem Solving for the Assurance Technologies. **Annual Reliability and Maintainability Symposium**, 1989.

SRIRAMAN, V.; TOSIRISUK, P. and CHU, H. W.. Object-Oriented Databases for Quality Function Deployment and Taguchi Methods.

Texas: *Proceedings of the 12th Annual Conference on Computers & Industrial Engineering*, p. 285-289, 1990.

STANGE, P.. Aplicação da Estatística na melhoria da qualidade. *Artigo apresentado na disciplina de Engenharia da Qualidade do programa de pós-graduação em Engenharia de Produção*. Florianópolis: UFSC, 1989

STEPHENS, Matthew P.. Comparison of Robustness of Taguchi's Methods with Classical ANOVA under Conditions of Homogeneous Variances. *Quality Engineering*, 7(1), p.147-167, 1994-95.

TAGUCHI, Genichi. Quality Engineering (Taguchi Methods) for the Development of Electronic Circuit Technology. *IEEE Transactions on Reliability*, v. 44, n. 2, p. 225-229, June 1995.

TAGUCHI, Genichi. *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes*. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1986.

TAKEUCHI, D. A. and NONAKA, I.. The New Product Development Game. *Harvard Business Review*, p. 137-146, Jan/Feb., 1986.

TAYLOR, G. A. R.. Fractional Factorial, Experimental Designs and Orthogonal Arrays. *Quality Assurance*, v. 15, n. 3, p. 117-123, September, 1989.

TISCHER, Leo A.. A Computer Optimized Experimental Design Study of Glass Fiber Handsheet Properties Relating to Production Parameters. *Tappi Journal*, v. 78, n. 3, March, 1995.

TOTTIE, Magnus and LAGER, Thomas. QFD - Linking the Customer to the Product Development Process as a Part of the TQM Concept. ***R&D Management***, p. 257-268, march, 1995.

UNAL, R. and DEAN, E. B.. Desing for Cost and Quality: The Robust Design Approach. ***Artigo encontrado na Internet endereço e.b.dean@larc.nasa.gov***, fevereiro, 1995.

ANEXO I

1. AS SETE TRADICIONAIS FERRAMENTAS DA QUALIDADE

1.1 HISTOGRAMA

É uma forma gráfica de se representar uma distribuição de frequências. Consiste em um conjunto de retângulos verticais onde cada retângulo tem largura correspondente a uma classe de frequência, e sua altura corresponde a frequência ocorrida naquela classe.

Distribuição de frequência fornece o número de vezes que um certo valor de interesse ocorre na amostra em exame.

1.2 CARTAS DE CONTROLE

Por volta de 1920, o Dr. Walter Shewart desenvolveu cartas de controle, também conhecidas como gráficos de controle. São instrumentos do Controle Estatístico do Processo (CEP), os quais indicam a situação atual do processo. Através das cartas, pode-se verificar, a qualquer momento, se um processo está sob controle, além de detectar fatores identificáveis os quais levarão o processo ao estado de fora de controle.

1.3 DIAGRAMA DE PARETO

É um gráfico de colunas através do qual podemos classificar e priorizar os problemas separando-os em: "os poucos vitais e os muitos triviais" (Princípio de Pareto). O gráfico evidencia a importância de cada problema e, conseqüentemente, onde devem ser feitos maiores esforços para solucioná-los.

1.4 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

É também conhecido como Diagrama Causa e Efeito, ou Diagrama Espinha de Peixe. Este relaciona um efeito observado com suas possíveis causas que são: Matéria-prima, Máquina, Medida, Meio ambiente, Mão-de-obra e Método. (São os 6 M's)

OBSERVAÇÃO: Existem autores que incluem um sétimo M, correspondente a Manutenção dos equipamentos.

1.5 PLANILHA DE COLETA DE DADOS

Após realizar um análise do problema, em busca de sua origem, projeta-se esta planilha que deverá facilitar a coleta dos dados e, após, se faz o levantamento dos mesmos para verificar a importância de cada item com base em fatos e dados.

1.6 FLUXOGRAMA

É a representação gráfica de um processo ou sistema. Estudando e revisando fluxogramas é possível detectar falhas de fluxo, tais como a seqüência incorreta das etapas do processo. Para aumentar seu poder de comunicação, costuma-se elaborar fluxogramas que contém duas partes: um gráfico e uma descrição dos fluxos.

1.7 DIAGRAMA DE DISPERSÃO

Consiste na representação em um gráfico (x,y) , posteriormente a coleta de dados, dos pares dos mesmos. Cada um

dos dados (x,y) pertencem a um grupo de estudo. Após se designar os eixos, ajusta-se uma escala e marca-se os pares de dados para analisar o formato das "nuvens" formadas e descobrir o tipo e a intensidade da relação.

2. AS NOVAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE

2.1 DIAGRAMA DE RELAÇÕES

Mostra os diversos fatores ou itens relevantes em uma situação ou problema complexo, indicando as relações lógicas entre os mesmos por meio de setas, para facilitar o entendimento amplo, a identificação de fatores e a busca de soluções adequadas.

2.2 DIAGRAMA DE AFINIDADES

Agrupa por afinidade ou relação natural os vários conjuntos de dados verbais levantados em torno de uma situação ou problema complexo, confuso ou novo, estimulando a criatividade e facilitando o surgimento de novas idéias, novos enfoques ou maior compreensão da situação.

2.3 DIAGRAMA ÁRVORE

A partir de um objetivo primário, mostra o encadeamento de todos os objetivos secundários e meios necessários para atingi-lo, em grau crescente de detalhamento. Também é conhecido como árvore funcional.

2.4 MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO

Permite estabelecer uma ordem numérica de prioridade para possíveis soluções, tarefas ou questões, segundo critérios preestabelecidos.

2.5 MATRIZ DE RELAÇÕES

Permite realizar análise multidimensional, identificando o grau de relação entre dois ou mais grupos de fatores.

2.6 DIAGRAMA PDPC (Process Decision Program Chart)

Em situações incertas ou dinâmicas, usa-se o PDPC para explorar os possíveis caminhos e ocorrências desde uma situação inicial até uma situação final desejada (ou a ser evitada), escolhendo-se a melhor alternativa (ou tomando-se medidas preventivas).

2.7 DIAGRAMA DE ATIVIDADES

Em situações relativamente certas ou familiares, detalha o encadeamento das atividades necessárias para

implementar um plano, além de permitir o acompanhamento do mesmo.

ANEXO II

1. ARRANJOS ORTOGONAIS COM DOIS NÍVEIS

Arranjo Ortogonal L4*

| Ensaio n° | Coluna n° | | |
|-----------|-----------|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 |
| 3 | 2 | 1 | 2 |
| 4 | 2 | 2 | 1 |

Tabela Triangular (Interações)

| Ensaio n° | Coluna n° | |
|-----------|-----------|---|
| | 2 | 3 |
| 1 | 3 | 2 |
| 2 | | 1 |

Arranjo L8

| Ensaio n° | Coluna n° | | | | | | |
|-----------|-----------|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |

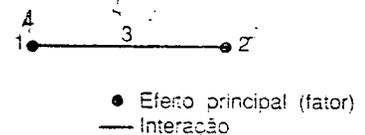
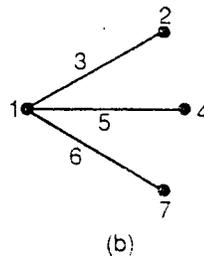
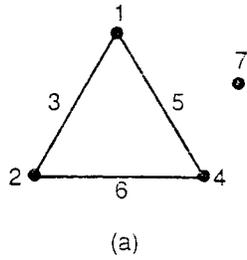


Tabela Triangular L8 (Interações)

| Ensaio n° | Coluna n° | | | | | |
|-----------|-----------|---|---|---|---|---|
| | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 3 | 2 | 5 | 4 | 7 | 6 |
| 2 | - | 1 | 6 | 7 | 4 | 5 |
| 3 | - | - | 7 | 6 | 5 | 4 |
| 4 | - | - | - | 1 | 2 | 3 |
| 5 | - | - | - | - | 3 | 2 |
| 6 | - | - | - | - | - | 1 |



Arranjo L12

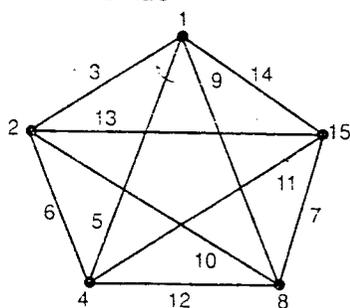
| <i>Ensaio n^o</i> | <i>Coluna n^o</i> | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 6 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 7 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 8 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 10 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 11 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 12 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |

Atenção: Uma interação de duas colunas está confundida com as demais colunas; atribua a este arranjo somente os efeitos principais.

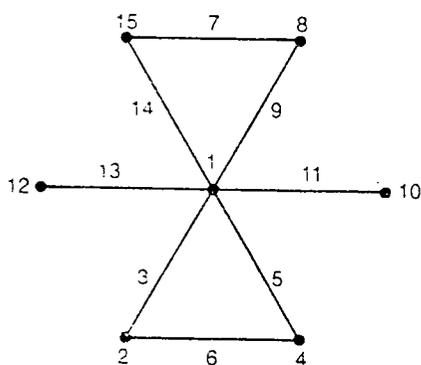
Coluna n°

| Ensaio n° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 6 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 7 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 9 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 12 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 14 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 15 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 16 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |

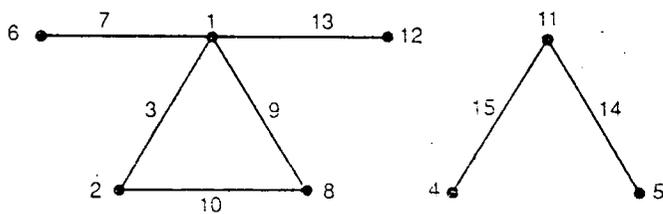
Gráficos Lineares <16



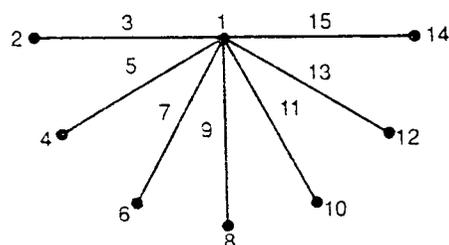
(a)



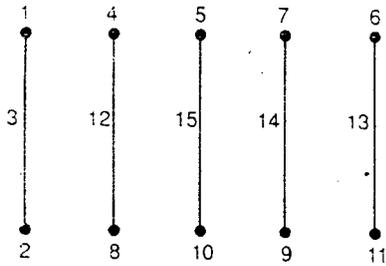
(b)



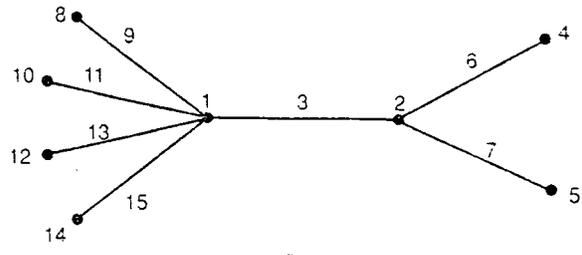
(c)



(d)



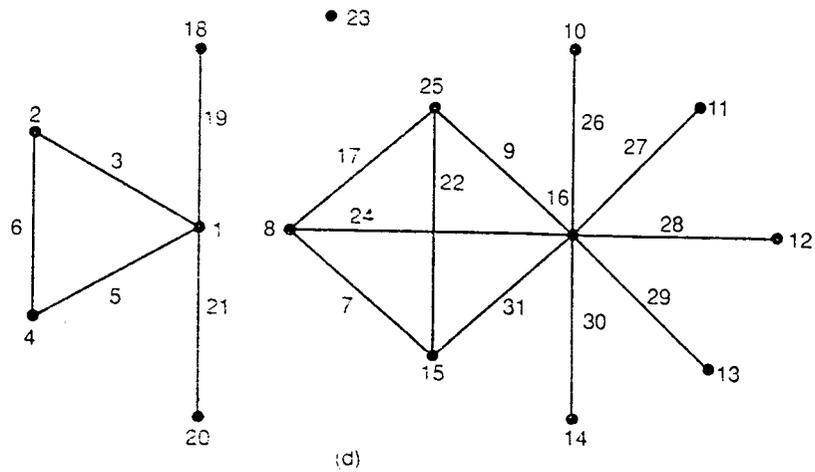
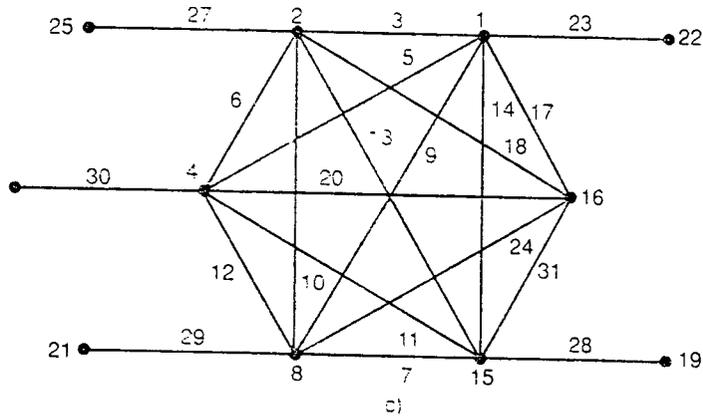
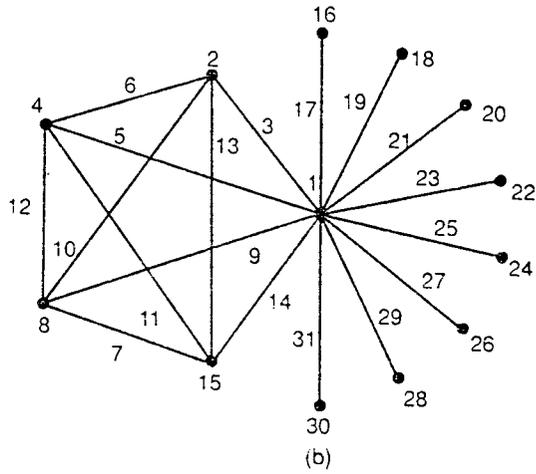
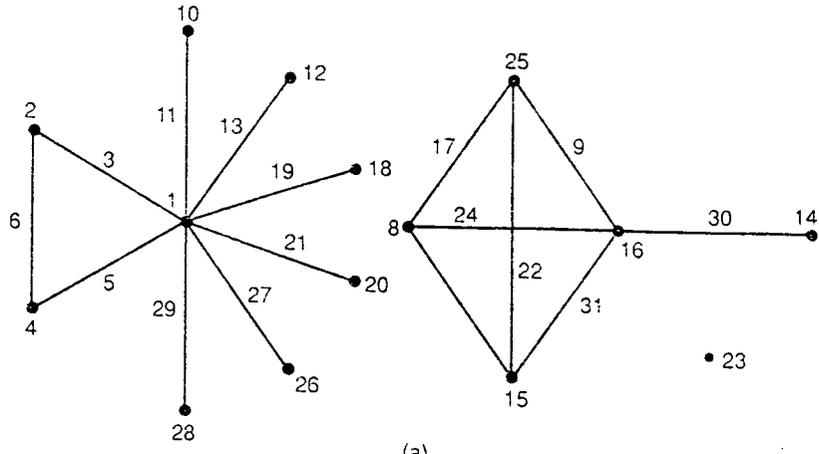
(e)

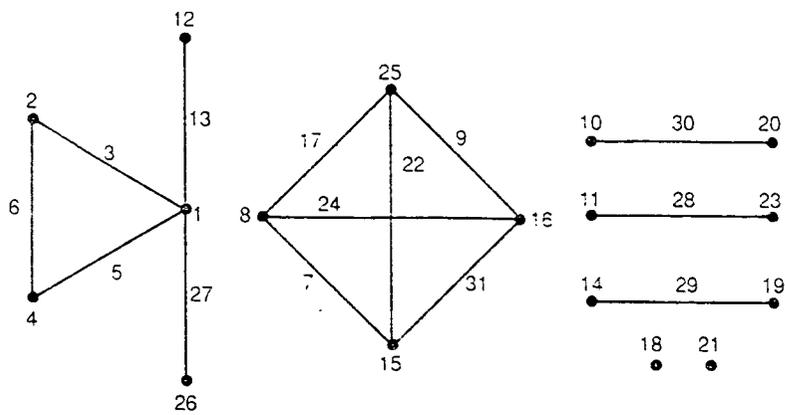


(f)

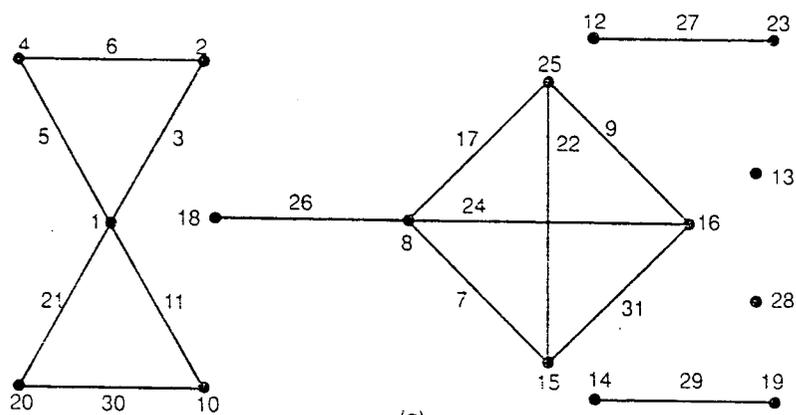
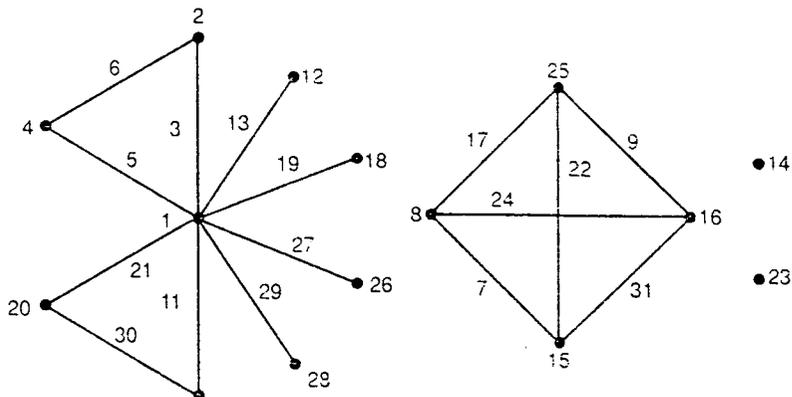
Arranjo L32

| Coluna n° | Coluna n° | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 9 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 10 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | |
| 11 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | |
| 12 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | |
| 13 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | |
| 14 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | |
| 15 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | |
| 16 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| 17 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| 18 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| 19 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| 20 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | |
| 21 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | |
| 22 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| 23 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | |
| 24 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| 25 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | |
| 26 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | |
| 27 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | |
| 28 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | |
| 29 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | |
| 30 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | |
| 31 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | |
| 32 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | |

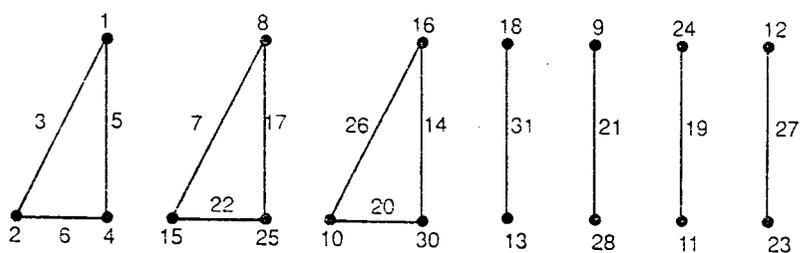




(e)

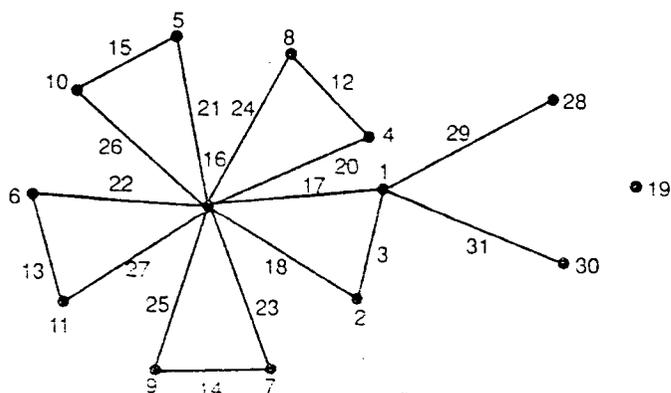


(g)

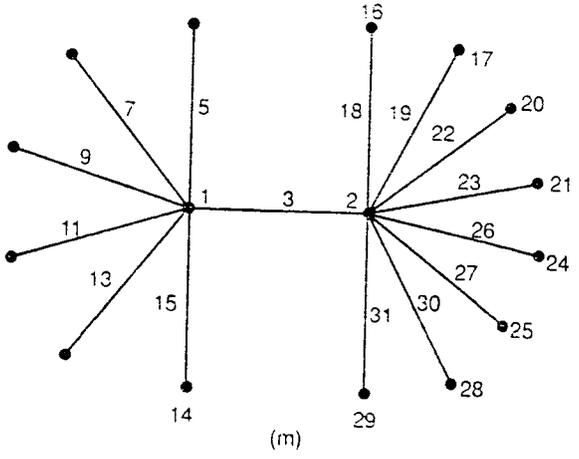
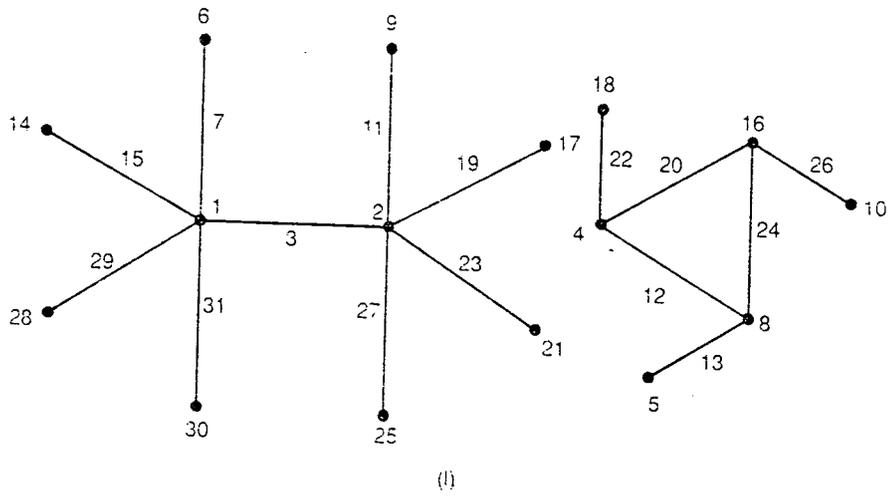
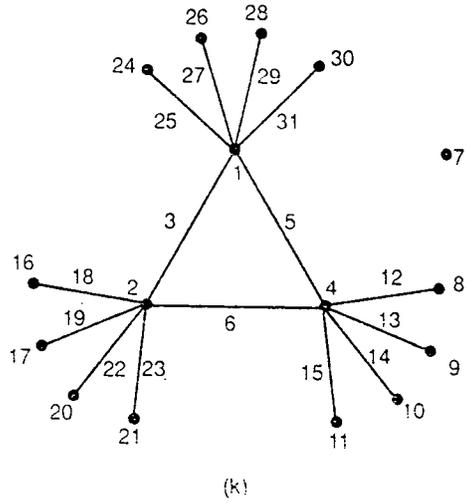
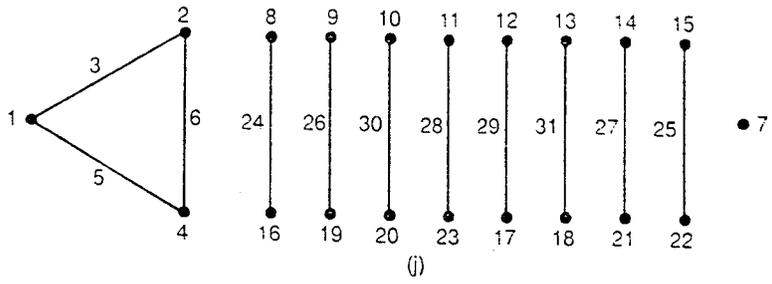


• 29

(h)



(i)

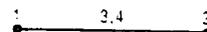


2. ARRANJOS ORTOGONAIS COM TRÊS NÍVEIS

Arranjo L9*

| Ensaio n ^o . | Coluna n ^o | | | |
|-------------------------|-----------------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 |

Gráfico Linear L9



Arranjo L18

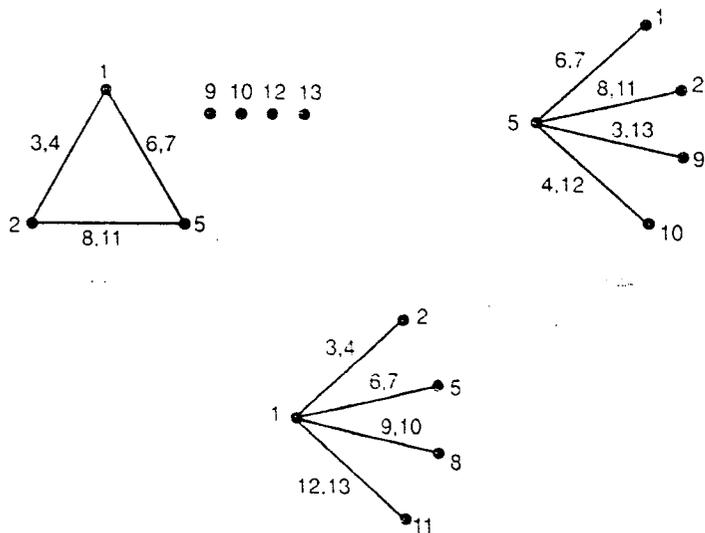
| Ensaio n ^o | Coluna n ^o | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 7 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| 8 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 9 | 1 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| 10 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| 12 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 |
| 14 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| 16 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 17 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 18 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 |

Gráfico Linear L18



| Ensaio n ^o | Coluna n ^o | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 5 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | 1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 9 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 11 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 |
| 12 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 13 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| 14 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 |
| 16 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | |
| 17 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| 18 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 19 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| 20 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 21 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| 22 | 3 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 23 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| 24 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 25 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 26 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 |
| 27 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 |

Gráficos Lineares L27



3. VALORES DE F

| | | F_{α, V_1, V_2} 90% de confiança | | | | | | | | | |
|---|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Graus de liberdade para o numerador (V_1) | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Graus de liberdade para o denominador (V_2) | 1 | 39,9 | 49,5 | 53,6 | 55,8 | 57,2 | 58,2 | 58,9 | 59,4 | 59,9 | 60,2 |
| | 2 | 8,53 | 9,00 | 9,16 | 9,24 | 9,29 | 9,33 | 9,35 | 9,37 | 9,38 | 9,39 |
| | 3 | 5,54 | 5,46 | 5,39 | 5,34 | 5,31 | 5,28 | 5,27 | 5,25 | 5,24 | 5,23 |
| | 4 | 4,54 | 4,32 | 4,19 | 4,11 | 4,05 | 4,01 | 3,98 | 3,95 | 3,94 | 3,92 |
| | 5 | 4,06 | 3,78 | 3,62 | 3,52 | 3,45 | 3,40 | 3,37 | 3,34 | 3,32 | 3,30 |
| | 6 | 3,78 | 3,46 | 3,29 | 3,18 | 3,11 | 3,05 | 3,01 | 2,98 | 2,96 | 2,94 |
| | 7 | 3,59 | 3,26 | 3,07 | 2,96 | 2,88 | 2,83 | 2,78 | 2,75 | 2,72 | 2,70 |
| | 8 | 3,46 | 3,11 | 2,92 | 2,81 | 2,73 | 2,67 | 2,62 | 2,59 | 2,56 | 2,54 |
| | 9 | 3,36 | 3,01 | 2,81 | 2,69 | 2,61 | 2,55 | 2,51 | 2,47 | 2,44 | 2,42 |
| | 10 | 3,28 | 2,92 | 2,73 | 2,61 | 2,52 | 2,46 | 2,41 | 2,38 | 2,35 | 2,32 |
| | 11 | 3,23 | 2,86 | 2,66 | 2,54 | 2,45 | 2,39 | 2,34 | 2,30 | 2,27 | 2,25 |
| | 12 | 3,18 | 2,81 | 2,61 | 2,48 | 2,39 | 2,33 | 2,28 | 2,24 | 2,21 | 2,19 |
| | 13 | 3,14 | 2,76 | 2,56 | 2,43 | 2,35 | 2,28 | 2,23 | 2,20 | 2,16 | 2,14 |
| | 14 | 3,10 | 2,73 | 2,52 | 2,39 | 2,31 | 2,24 | 2,19 | 2,15 | 2,12 | 2,10 |
| | 15 | 3,07 | 2,70 | 2,49 | 2,36 | 2,27 | 2,21 | 2,16 | 2,12 | 2,09 | 2,06 |
| | 16 | 3,05 | 2,67 | 2,46 | 2,33 | 2,24 | 2,18 | 2,13 | 2,09 | 2,06 | 2,03 |
| | 17 | 3,03 | 2,64 | 2,44 | 2,31 | 2,22 | 2,15 | 2,10 | 2,06 | 2,03 | 2,00 |
| | 18 | 3,01 | 2,62 | 2,42 | 2,29 | 2,20 | 2,13 | 2,08 | 2,04 | 2,00 | 1,98 |
| | 19 | 2,99 | 2,61 | 2,40 | 2,27 | 2,18 | 2,11 | 2,06 | 2,02 | 1,98 | 1,96 |
| | 20 | 2,97 | 2,59 | 2,38 | 2,25 | 2,16 | 2,09 | 2,04 | 2,00 | 1,96 | 1,94 |
| 22 | 2,95 | 2,56 | 2,35 | 2,22 | 2,13 | 2,06 | 2,01 | 1,97 | 1,93 | 1,90 | |
| 24 | 2,93 | 2,54 | 2,33 | 2,19 | 2,10 | 2,04 | 1,98 | 1,94 | 1,91 | 1,88 | |
| 26 | 2,91 | 2,52 | 2,31 | 2,17 | 2,08 | 2,01 | 1,96 | 1,92 | 1,88 | 1,86 | |
| 28 | 2,89 | 2,50 | 2,29 | 2,16 | 2,06 | 2,00 | 1,94 | 1,90 | 1,87 | 1,84 | |
| 30 | 2,88 | 2,49 | 2,28 | 2,14 | 2,05 | 1,98 | 1,93 | 1,88 | 1,85 | 1,82 | |
| 40 | 2,84 | 2,44 | 2,23 | 2,09 | 2,00 | 1,93 | 1,87 | 1,83 | 1,79 | 1,76 | |
| 50 | 2,81 | 2,41 | 2,20 | 2,06 | 1,97 | 1,90 | 1,84 | 1,80 | 1,76 | 1,73 | |
| 60 | 2,79 | 2,39 | 2,18 | 2,04 | 1,95 | 1,87 | 1,82 | 1,77 | 1,74 | 1,71 | |
| 80 | 2,77 | 2,37 | 2,15 | 2,02 | 1,92 | 1,85 | 1,79 | 1,75 | 1,71 | 1,68 | |
| 100 | 2,76 | 2,36 | 2,14 | 2,00 | 1,91 | 1,83 | 1,78 | 1,73 | 1,70 | 1,66 | |
| 200 | 2,73 | 2,33 | 2,11 | 1,97 | 1,88 | 1,80 | 1,75 | 1,70 | 1,66 | 1,63 | |
| 500 | 2,72 | 2,31 | 2,10 | 1,96 | 1,86 | 1,79 | 1,73 | 1,68 | 1,64 | 1,61 | |
| ∞ | 2,71 | 2,30 | 2,08 | 1,94 | 1,85 | 1,77 | 1,72 | 1,67 | 1,63 | 1,60 | |

$F_{0.10; v_1, v_2}$, 95% de confiança

| | Graus de liberdade para o numerador (v_1) | | | | | | | | | |
|----|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 161 | 200 | 216 | 225 | 230 | 234 | 237 | 239 | 241 | 242 |
| 2 | 18,5 | 19,0 | 19,2 | 19,2 | 19,3 | 19,3 | 19,4 | 19,4 | 19,4 | 19,4 |
| 3 | 10,1 | 9,55 | 9,28 | 9,12 | 9,01 | 8,94 | 8,89 | 8,85 | 8,81 | 8,79 |
| 4 | 7,71 | 6,94 | 6,59 | 6,39 | 6,26 | 6,16 | 6,09 | 6,04 | 6,00 | 5,96 |
| 5 | 6,61 | 5,79 | 5,41 | 5,19 | 5,05 | 4,95 | 4,88 | 4,82 | 4,77 | 4,74 |
| 6 | 5,99 | 5,14 | 4,76 | 4,53 | 4,39 | 4,28 | 4,21 | 4,15 | 4,10 | 4,06 |
| 7 | 5,59 | 4,74 | 4,35 | 4,12 | 3,97 | 3,87 | 3,79 | 3,73 | 3,68 | 3,64 |
| 8 | 5,32 | 4,46 | 4,07 | 3,84 | 3,69 | 3,58 | 3,50 | 3,44 | 3,39 | 3,35 |
| 9 | 5,12 | 4,26 | 3,86 | 3,63 | 3,48 | 3,37 | 3,29 | 3,23 | 3,18 | 3,14 |
| 10 | 4,96 | 4,10 | 3,71 | 3,48 | 3,33 | 3,22 | 3,14 | 3,07 | 3,02 | 2,98 |
| 11 | 4,84 | 2,98 | 3,50 | 3,36 | 3,20 | 3,01 | 2,95 | 2,90 | 2,85 | 2,82 |
| 12 | 4,75 | 3,89 | 3,49 | 3,26 | 3,11 | 3,00 | 2,91 | 2,85 | 2,80 | 2,75 |
| 13 | 4,67 | 3,81 | 3,41 | 3,18 | 3,03 | 2,92 | 2,83 | 2,77 | 2,71 | 2,63 |
| 14 | 4,60 | 3,74 | 3,34 | 3,11 | 2,96 | 2,85 | 2,76 | 2,70 | 2,65 | 2,60 |
| 15 | 4,54 | 3,68 | 3,29 | 3,06 | 2,90 | 2,79 | 2,71 | 2,64 | 2,59 | 2,54 |
| 16 | 4,49 | 3,63 | 3,24 | 3,01 | 2,85 | 2,74 | 2,66 | 2,59 | 2,54 | 2,49 |
| 17 | 4,45 | 3,59 | 3,20 | 2,96 | 2,81 | 2,70 | 2,61 | 2,55 | 2,49 | 2,45 |
| 18 | 4,41 | 3,55 | 3,16 | 2,93 | 2,77 | 2,66 | 2,58 | 2,51 | 2,46 | 2,41 |
| 19 | 4,38 | 3,52 | 3,13 | 2,90 | 2,74 | 2,63 | 2,54 | 2,48 | 2,42 | 2,38 |
| 20 | 4,35 | 3,49 | 3,10 | 2,87 | 2,71 | 2,60 | 2,51 | 2,45 | 2,39 | 2,35 |
| 21 | 4,32 | 3,47 | 3,07 | 2,82 | 2,68 | 2,57 | 2,49 | 2,42 | 2,37 | 2,32 |
| 22 | 4,30 | 3,44 | 3,05 | 2,84 | 2,66 | 2,55 | 2,46 | 2,40 | 2,34 | 2,30 |
| 23 | 4,28 | 3,42 | 3,03 | 2,80 | 2,64 | 2,53 | 2,44 | 2,37 | 2,32 | 2,27 |
| 24 | 4,26 | 3,40 | 3,01 | 2,78 | 2,62 | 2,51 | 2,42 | 2,36 | 2,30 | 2,25 |
| 25 | 4,24 | 3,39 | 2,99 | 2,76 | 2,60 | 2,49 | 2,40 | 2,34 | 2,28 | 2,24 |
| 26 | 4,23 | 3,37 | 2,98 | 2,74 | 2,59 | 2,47 | 2,39 | 2,32 | 2,27 | 2,22 |
| 27 | 4,21 | 3,35 | 2,96 | 2,73 | 2,57 | 2,46 | 2,37 | 2,31 | 2,25 | 2,20 |
| 28 | 4,20 | 3,34 | 2,95 | 2,71 | 2,56 | 2,45 | 2,36 | 2,29 | 2,24 | 2,19 |
| 29 | 4,18 | 3,33 | 2,93 | 2,70 | 2,55 | 2,43 | 2,35 | 2,28 | 2,22 | 2,18 |
| 30 | 4,17 | 3,32 | 2,92 | 2,69 | 2,53 | 2,42 | 2,33 | 2,27 | 2,21 | 2,16 |
| 32 | 4,15 | 3,29 | 2,90 | 2,67 | 2,51 | 2,40 | 2,31 | 2,24 | 2,19 | 2,14 |
| 34 | 4,13 | 3,28 | 2,88 | 2,65 | 2,49 | 2,38 | 2,29 | 2,23 | 2,17 | 2,12 |
| 36 | 4,11 | 3,26 | 2,87 | 2,63 | 2,48 | 2,36 | 2,28 | 2,21 | 2,15 | 2,11 |
| 38 | 4,10 | 3,24 | 2,85 | 2,62 | 2,46 | 2,35 | 2,26 | 2,19 | 2,14 | 2,09 |

$F_{0,10; v_1, v_2}$ 95% de confiança

| | Graus de liberdade para o numerador (v_1) | | | | | | | | | |
|----------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 40 | 4,08 | 3,23 | 2,84 | 2,61 | 2,45 | 2,34 | 2,25 | 2,18 | 2,12 | 2,08 |
| 42 | 4,07 | 3,22 | 2,83 | 2,59 | 2,44 | 2,32 | 2,24 | 2,16 | 2,11 | 2,06 |
| 44 | 4,06 | 3,21 | 2,82 | 2,58 | 2,43 | 2,31 | 2,23 | 2,16 | 2,10 | 2,05 |
| 46 | 4,05 | 3,20 | 2,81 | 2,57 | 2,42 | 2,30 | 2,22 | 2,15 | 2,09 | 2,04 |
| 48 | 4,04 | 3,19 | 2,80 | 2,57 | 2,41 | 2,29 | 2,21 | 2,14 | 2,08 | 2,03 |
| 50 | 4,03 | 3,18 | 2,79 | 2,56 | 2,40 | 2,29 | 2,20 | 2,13 | 2,07 | 2,03 |
| 55 | 4,02 | 3,16 | 2,77 | 2,54 | 2,38 | 2,27 | 2,18 | 2,11 | 2,06 | 2,01 |
| 60 | 4,00 | 3,15 | 2,76 | 2,53 | 2,37 | 2,25 | 2,17 | 2,10 | 2,04 | 1,99 |
| 65 | 3,99 | 3,14 | 2,75 | 2,51 | 2,36 | 2,24 | 2,15 | 2,08 | 2,03 | 1,98 |
| 70 | 3,98 | 3,13 | 2,74 | 2,50 | 2,35 | 2,23 | 2,14 | 2,07 | 2,02 | 1,97 |
| 80 | 3,96 | 3,11 | 2,73 | 2,49 | 2,33 | 2,21 | 2,13 | 2,06 | 2,00 | 1,95 |
| 90 | 3,95 | 3,10 | 2,71 | 2,47 | 2,32 | 2,20 | 2,11 | 2,04 | 1,99 | 1,94 |
| 100 | 3,94 | 3,09 | 2,70 | 2,46 | 2,31 | 2,19 | 2,10 | 2,03 | 1,97 | 1,93 |
| 125 | 3,92 | 3,07 | 2,68 | 2,44 | 2,29 | 2,17 | 2,08 | 2,01 | 1,96 | 1,91 |
| 150 | 3,90 | 3,08 | 2,66 | 2,43 | 2,27 | 2,16 | 2,07 | 2,00 | 1,94 | 1,89 |
| 200 | 3,89 | 3,04 | 2,65 | 2,42 | 2,26 | 2,14 | 2,06 | 1,98 | 1,93 | 1,88 |
| 300 | 3,87 | 3,03 | 2,63 | 2,40 | 2,24 | 2,13 | 2,04 | 1,97 | 1,91 | 1,86 |
| 500 | 3,86 | 3,01 | 2,62 | 2,39 | 2,23 | 2,12 | 2,03 | 1,96 | 1,90 | 1,85 |
| 1000 | 3,85 | 3,00 | 2,61 | 2,38 | 2,22 | 2,11 | 2,02 | 1,95 | 1,89 | 1,84 |
| ∞ | 3,84 | 3,00 | 2,60 | 2,37 | 2,21 | 2,10 | 2,01 | 1,94 | 1,88 | 1,83 |

99% de confiança

Multiplicar os números da primeira coluna ($V_1 = 1$) por 10

| | Graus de liberdade para o denominador (V_2) | | | | | | | | | |
|----|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 405 | 500 | 540 | 563 | 576 | 596 | 598 | 598 | 602 | 606 |
| 2 | 93,5 | 99,0 | 99,3 | 99,3 | 99,3 | 99,3 | 99,4 | 99,4 | 99,4 | 99,4 |
| 3 | 34,1 | 30,8 | 20,5 | 28,7 | 28,2 | 27,9 | 27,7 | 27,5 | 27,3 | 27,2 |
| 4 | 21,2 | 18,0 | 16,7 | 16,0 | 15,5 | 15,2 | 15,0 | 14,8 | 14,7 | 14,5 |
| 5 | 16,8 | 13,2 | 12,1 | 11,4 | 11,0 | 10,7 | 10,5 | 10,3 | 10,2 | 10,1 |
| 6 | 13,7 | 10,9 | 9,78 | 9,15 | 8,75 | 8,47 | 8,28 | 8,10 | 7,98 | 7,87 |
| 7 | 12,2 | 9,55 | 8,45 | 7,85 | 7,46 | 7,19 | 6,99 | 6,94 | 6,72 | 6,62 |
| 8 | 11,3 | 8,65 | 7,89 | 7,01 | 6,63 | 6,37 | 6,18 | 6,03 | 5,91 | 5,81 |
| 9 | 10,6 | 8,02 | 6,99 | 6,42 | 6,06 | 5,80 | 5,61 | 5,47 | 5,35 | 5,26 |
| 10 | 10,0 | 7,56 | 6,55 | 5,99 | 5,64 | 5,39 | 5,20 | 5,06 | 4,94 | 4,85 |
| 11 | 9,65 | 7,21 | 6,22 | 5,67 | 5,32 | 5,07 | 4,89 | 4,74 | 4,63 | 4,54 |
| 12 | 9,33 | 6,93 | 5,95 | 5,41 | 5,06 | 4,82 | 4,64 | 4,50 | 4,30 | 4,30 |
| 13 | 9,07 | 6,70 | 5,74 | 5,21 | 4,86 | 4,62 | 4,44 | 4,30 | 4,19 | 4,10 |
| 14 | 8,86 | 6,51 | 5,58 | 5,04 | 4,70 | 4,46 | 4,28 | 4,14 | 4,03 | 3,94 |

99% de confiança

| | Multiplicar os números da primeira coluna ($V_2 = 1$) por 10 | | | | | | | | | |
|----------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Graus de liberdade para o denominador (V_2) | | | | | | | | | |
| 15 | 8,68 | 6,26 | 5,42 | 4,89 | 4,56 | 4,32 | 4,14 | 4,00 | 3,89 | 3,80 |
| 16 | 8,53 | 6,22 | 5,29 | 4,77 | 4,44 | 4,20 | 4,03 | 3,89 | 3,78 | 3,69 |
| 17 | 8,60 | 6,11 | 5,18 | 4,67 | 4,34 | 4,10 | 3,93 | 3,79 | 3,68 | 3,59 |
| 18 | 8,20 | 6,01 | 5,09 | 4,58 | 4,25 | 4,01 | 3,84 | 3,71 | 3,60 | 3,51 |
| 19 | 8,18 | 5,93 | 5,01 | 4,50 | 4,17 | 3,94 | 3,77 | 3,68 | 3,52 | 3,43 |
| 20 | 8,10 | 5,85 | 4,94 | 4,43 | 4,10 | 3,87 | 3,70 | 3,56 | 3,46 | 3,37 |
| 21 | 8,02 | 5,78 | 4,87 | 4,37 | 4,04 | 3,81 | 3,64 | 3,51 | 3,40 | 3,31 |
| 22 | 7,95 | 5,72 | 4,82 | 4,31 | 3,99 | 3,76 | 3,59 | 3,45 | 3,35 | 3,26 |
| 23 | 7,86 | 5,66 | 4,76 | 4,26 | 3,94 | 3,71 | 3,54 | 3,41 | 3,30 | 3,21 |
| 24 | 7,82 | 5,61 | 4,72 | 4,22 | 3,90 | 3,67 | 3,50 | 3,36 | 3,26 | 3,17 |
| 25 | 7,77 | 5,57 | 4,68 | 4,18 | 3,86 | 3,63 | 3,46 | 3,32 | 3,22 | 3,13 |
| 26 | 7,72 | 5,53 | 4,64 | 4,14 | 3,82 | 3,59 | 3,42 | 3,29 | 3,18 | 3,09 |
| 27 | 7,66 | 5,49 | 4,60 | 4,11 | 3,78 | 3,56 | 3,39 | 3,26 | 3,15 | 3,06 |
| 28 | 7,64 | 5,45 | 4,57 | 4,07 | 3,75 | 3,53 | 3,36 | 3,23 | 3,12 | 3,03 |
| 29 | 7,60 | 5,42 | 4,54 | 4,04 | 3,73 | 3,50 | 3,33 | 3,20 | 3,09 | 3,00 |
| 30 | 7,56 | 5,39 | 4,51 | 4,03 | 3,70 | 3,47 | 3,30 | 3,17 | 3,07 | 2,98 |
| 32 | 7,50 | 5,34 | 4,46 | 3,97 | 3,65 | 3,43 | 3,26 | 3,13 | 3,02 | 2,93 |
| 34 | 7,44 | 5,29 | 4,42 | 3,93 | 3,61 | 3,39 | 3,23 | 3,09 | 2,96 | 2,89 |
| 36 | 7,40 | 5,25 | 4,36 | 3,89 | 3,57 | 3,35 | 3,18 | 3,05 | 2,95 | 2,86 |
| 38 | 7,35 | 5,21 | 4,34 | 3,86 | 3,54 | 3,32 | 3,15 | 3,02 | 2,92 | 2,83 |
| 40 | 7,31 | 5,18 | 4,31 | 3,83 | 3,51 | 3,29 | 3,12 | 2,99 | 2,80 | 2,80 |
| 42 | 7,28 | 5,15 | 4,29 | 3,80 | 3,49 | 3,27 | 3,10 | 2,97 | 2,86 | 2,78 |
| 44 | 7,25 | 5,12 | 4,26 | 3,78 | 3,47 | 3,24 | 3,08 | 2,95 | 2,84 | 2,75 |
| 46 | 7,22 | 5,10 | 4,24 | 3,76 | 3,44 | 3,22 | 3,06 | 2,93 | 2,82 | 2,73 |
| 48 | 7,19 | 5,08 | 4,22 | 3,74 | 3,43 | 3,20 | 3,04 | 2,91 | 2,80 | 2,72 |
| 50 | 7,17 | 5,06 | 4,20 | 3,72 | 3,41 | 3,19 | 3,02 | 2,89 | 2,79 | 2,70 |
| 55 | 7,12 | 5,01 | 4,16 | 3,68 | 3,37 | 3,15 | 2,98 | 2,85 | 2,75 | 2,66 |
| 60 | 7,08 | 4,98 | 4,12 | 3,65 | 3,34 | 3,12 | 2,95 | 2,82 | 2,72 | 2,63 |
| 65 | 7,04 | 4,95 | 4,10 | 3,62 | 3,31 | 3,09 | 2,93 | 2,80 | 2,69 | 2,61 |
| 70 | 7,01 | 4,92 | 4,08 | 3,60 | 3,29 | 3,07 | 2,91 | 2,78 | 2,67 | 2,59 |
| 80 | 6,98 | 4,88 | 4,04 | 3,56 | 3,26 | 3,04 | 2,87 | 2,74 | 2,64 | 2,55 |
| 90 | 6,93 | 4,85 | 4,01 | 3,54 | 3,23 | 3,01 | 2,84 | 2,72 | 2,61 | 2,52 |
| 100 | 6,90 | 4,83 | 3,96 | 3,51 | 3,21 | 2,99 | 2,82 | 2,69 | 2,59 | 2,50 |
| 125 | 6,84 | 4,78 | 3,94 | 3,47 | 3,17 | 2,95 | 2,79 | 2,66 | 2,55 | 2,47 |
| 150 | 6,81 | 4,75 | 3,92 | 3,45 | 3,14 | 2,92 | 2,76 | 2,63 | 2,53 | 2,44 |
| 200 | 6,76 | 4,71 | 3,88 | 3,41 | 3,11 | 2,89 | 2,73 | 2,60 | 2,50 | 2,41 |
| 300 | 6,72 | 4,68 | 3,85 | 3,38 | 3,08 | 2,86 | 2,70 | 2,57 | 2,47 | 2,36 |
| 500 | 6,69 | 4,65 | 3,82 | 3,36 | 3,05 | 2,84 | 2,68 | 2,55 | 2,44 | 2,36 |
| 1000 | 6,66 | 4,63 | 3,80 | 3,34 | 3,04 | 2,82 | 2,66 | 2,53 | 2,43 | 2,34 |
| ∞ | 6,66 | 4,61 | 3,78 | 3,32 | 3,02 | 2,80 | 2,64 | 2,51 | 2,41 | 2,32 |