

ARNALDO BRAZIL FERREIRA

PRODUTO TOTAL E PROJETO TOTAL:  
PROCESSO PARA QUALIDADE DO PROJETO A PARTIR  
DA VOZ DO CLIENTE

Tese apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do  
título de Doutor em Engenharia.

São Paulo

1993

OK

ARNALDO BRAZIL FERREIRA

Engenheiro Mecânico, Faculdade de Engenharia FAAP, 1982

Mestre em Engenharia, Escola Politécnica da USP, 1990

PRODUTO TOTAL E PROJETO TOTAL:

PROCESSO PARA QUALIDADE DO PROJETO A PARTIR

DA VOZ DO CLIENTE

Tese apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para obtenção do  
título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica

Orientador:  
Prof. Dr. Ronaldo de Breyne Salvagni  
Prof. Titular do Departamento de  
Engenharia Mecânica da EPUSP.

São Paulo  
1993

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600010337

Aos meus pais (em memória).

A todos aqueles que direta ou indiretamente estão envolvidos em projeto de produto que de uma forma ou de outra vão melhorar a qualidade de vida.

À Natália.

## A G R A D E C I M E N T O S

Ao Prof. Dr. Ronaldo de Breyne Salvagni, pelas diretrizes e permanente incentivo, também pela amizade surgida nesses anos como resultado da troca de idéias e discussões que iam além dos temas acadêmicos e profissionais.

À Natália, esposa, amiga e companheira que com paciência e preocupação com qualidade datilografou o trabalho. Sua dedicação e espírito crítico muito contribuiu para um texto melhor redigido. Seu incentivo e constante companhia durante longas e seguidas horas de estudo nunca permitiu que eu esmorecesse. Esposa Total.

Ao Sr. Udo Kruse, Diretor Presidente da Divisão Ford da Autolatina Brasil S.A., pelo seu estímulo, apoio e compreensão que me liberou das atividades profissionais no momento crítico da conclusão deste trabalho.

5.2.2 Estudo de Caso: Transmissão Automática.....	45
5.2.3 Controle de Qualidade Fora da Linha.....	47
5.3 Engenharia Simultânea.....	49
5.3.1 Conceito.....	49
5.3.2 Implementação.....	50
5.4 Desdobramento da Função Qualidade.....	51
5.4.1 Fundamentos do QFD.....	51
5.4.2 Técnica QFD.....	53
5.5 A Engenharia e Análise de Valor (EV/AV).....	58
5.5.1 Conceituação e Conteúdo.....	58
5.6 CAD/CAE/CAM .....	60
5.6.1 Conceito.....	60
5.6.2 Benefícios na Engenharia de Projeto.....	61
5.6.3 Benefícios para Engenharia de Manufatura .....	64
6 PRODUTO TOTAL.....	65
6.1 Conceito de Produto Total.....	65
6.2 Qualidade do Produto Total.....	66
6.3 Integridade do Produto Total.....	71
6.4 Valor Total do Produto.....	74
6.5 Sociabilidade do Produto Total.....	76
6.6 Fabricabilidade do Produto Total.....	77
6.7 Robustez do Produto Total.....	77
7 IMPORTÂNCIA DO PROJETO TOTAL.....	79
7.1 Necessidade de uma Nova Abordagem para Projeto...	79
7.2 As Dimensões da Competitividade e o Projeto.....	82
7.3 A importância do Projeto no Sucesso de um Produto.....	83
7.4 A Importância do Projeto e os Custos.....	85
8 PROJETO TOTAL.....	89
8.1 Projeto Total- Conceito.....	89
8.2 Produto Total.....	93
8.3 Novo Processo de Projeto.....	93
8.4 Qualidade de Projeto.....	98

8.4.1 Projeto para Manufatura.....	102
8.4.2 Projeto para Interface Homem-Máquina.....	106
8.4.3 Projeto para Serviço.....	111
8.4.4 Projeto para Disponibilidade.....	114
8.5 Controle de Qualidade na Engenharia.....	117
8.5.1 Revisão no Projeto Total.....	122
8.5.2 Revisão de Projeto-Guia de Perguntas .....	125
8.6 Análise para o Ciclo de Vida.....	129
8.7 Qualidade Total - Projeto Total.....	130
9 DO FRACASSO AO SUCESSO DE NOVOS PRODUTOS:	
PROJETO TOTAL.....	132
9.1 Porque Alguns Produtos Fracassam.....	132
9.2 Porque Alguns Produtos Têm Sucesso.....	135
9.3 Projeto Tradicional Versus Projeto Total.....	137
10 COMO IMPLEMENTAR PROJETO TOTAL.....	143
10.1 Passos para Implementação do Projeto Total.....	143
10.2 Principais Atividades do Projeto Total.....	144
11 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	148
11.1 Conclusões.....	148
11.2 Trabalhos Futuros.....	149
12 REFERÊNCIAS.....	150

## LISTA DE TABELAS

TABELAS	PAG.
Tabela 4.1 - Classificação de Máquinas por Função ..	17
Tabela 5.1 - A Interpretação das Quinze Dimensões da Qualidade no caso de um Automóvel...	40
Tabela 5.2 - As sete ferramentas do Controle de Qualidade.....	42
Tabela 5.3 - Função Perda para função de características continuamente variáveis.....	45
Tabela 5.4 - Atributos do Cliente e um pacote de AC's para a porta de um Automóvel.....	55
Tabela 5.4 - Áreas assistidas por CAD/CAE/CAM.....	61
Tabela 6.1 - Fatores afetando Valor Total.....	75
Tabela 7.1 - Produtos Tradicionais e Produtos Modernos.....	81
Tabela 7.2 - Razões para o fracasso de um novo produto.....	84
Tabela 7.3 - Fontes de custo em automóvel .....	86
Tabela 7.4 - Causas de redução de lucros.....	87
Tabela 8.1 - Fases do projeto e ferramentas de engenharia.....	90
Tabela 8.2 - Cultura centrada no fabricante x Cultura centrada no cliente.....	92
Tabela 8.3 - O que os clientes mais desejam em produtos e serviços.....	95
Tabela 8.4 - Os clientes estão dispostos a pagar mais por melhor qualidade.....	96
Tabela 8.5 - Redução de preços de mercado. Bens duráveis, Brasil 1990/1993.....	98
Tabela 8.6 - Controle de qualidade na Engenharia. Principais medidas.....	120

## TABELAS (cont.)

PAG.

Tabela 9.1 - Alguns produtos que fracassaram.....	133
Tabela 9.2 - Fatores que contribuem para o sucesso de novos produtos .....	136
Tabela 9.3 - Fases do projeto tradicional e suas características.....	139
Tabela 9.4 - Fases do Projeto Total e suas características.....	141
Tabela 9.5 - Projeto Tradicional versus Projeto Total.....	142
Tabela 10.1 - Voz do cliente para especificação técnica.....	146

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PAG.
Figura 4.1 - Esquema genérico de uma máquina.....	18
Figura 4.2 - Processamento do conceito para se conceber o produto.....	23
Figura 4.3 - Esquema das interações e solicitações para o projeto de máquinas.....	24
Figura 4.4 - Fluxograma do Processo de Projeto.....	26
Figura 4.5 - Exemplos de reversão de funções.....	32
Figura 5.1 - Representação gráfica da função perda de Taguchi.....	44
Figura 5.2 - Apresentação da variabilidade de duas fábricas e seu efeito na função perda...	46
Figura 5.3 - Fatores de ruído responsáveis pelos desvios das características do seu valor objetivo.....	49
Figura 5.4 - As matrizes e gráficos do QFD desdobram as necessidades dos clientes de forma sistêmica.....	52
Figura 5.5 - Casa da Qualidade.....	54
Figura 5.6 - Casa da Qualidade. Porta de um Automóvel	57
Figura 6.1 - Produto Total-Ciclo.....	65
Figura 6.2 - Diagrama das dimensões do Produto Total.	66
Figura 6.3 - Modelo de Kano. As duas dimensões da qualidade.....	68
Figura 6.4 - Três tipos de qualidade. Adaptado do Modelo de Kano.....	69
Figura 6.5 - Integridade. Característica do Produto Total que significa consistência.....	73
Figura 7.1 - Variáveis do Projeto de Produto.....	83

FIGURA (cont.)

PAG.

Figura 7.2 - Custo do Programa e fases de desenvolvimento.....	87
Figura 7.3 - Impacto do tempo de lançamento de um produto sobre o lucro total acumulado sobre vendas até sua retirada do mercado	88
Figura 8.1 - Dimensões do Projeto Total.....	91
Figura 8.2 - Envolvimento de todos os clientes (externos e internos) no desenvolvimento de produto.....	91
Figura 8.3 - Processo de projeto tradicional e Total.....	94
Figura 8.4 - Evolução da relação preço, custo e lucro.....	97
Figura 8.5 - Processo de Projeto para fabricação.....	103
Figura 8.6 - Implicações para Projeto. Classificação dos Produtos de acordo com os custos....	112
Figura 8.7 - Tendências na quantidade de modificações de projeto e competência de engenharia..	121

## RESUMO

Diversos estudos mostram a forte influência do projeto na qualidade, custo e fabricabilidade de um novo produto. A qualidade de um novo produto começa na prancheta ou na estação de trabalho do engenheiro. Um mau projeto nunca resultará em um produto de qualidade, bem como um mau conceito de produto nunca será bem projetado.

Este trabalho propõe o modelo de Produto Total e Processo de Projeto Total para concepção e desenvolvimento de novos produtos. São uma alternativa aos modelos e processos tradicionais que não se mostram capazes de produzir produtos de sucesso de forma coerente. Projeto Total tem por foco as necessidades tanto do cliente externo como do cliente interno durante o desenvolvimento do produto, a fim de atender completamente a demanda atual do mercado por produtos de baixo custo, alta qualidade e pronta entrega.

Produto Total e Projeto Total também auxiliam na implementação do controle de qualidade na atividade de desenvolvimento de produtos, em linha com a filosofia de Gerência da Qualidade Total (TQM).

## ABSTRACT

Many studies have shown that design plays a major role in product quality, product cost and product manufacturability. The product quality begins at design engineer's workstation. A bad design will never make a good product, as well as, a bad product concept will hardly be well designed.

This work proposes Total Product model and Total Design process for new product concept and development. These are an alternative of traditional approaches, which have failed to consistently make successful products. Total Design focuses on external and internal customer's needs during the product development to fully meet current market demand for low cost, high quality and prompt delivery.

Total Product and Total Design may help implement quality control practices within product development, in line with Total Quality Management imperatives.

## 1. INTRODUÇÃO

A capacidade de desenvolver e lançar produtos com sucesso é fundamental para se manter a competitividade de uma indústria, seja ela de bens duráveis, de produtos perecíveis ou de prestação de serviços.

O sucesso de um produto, desde uma simples engrenagem até um satélite de comunicação baseia-se na experiência vivida pelo cliente com o produto ou serviço medida contra suas exigências anunciadas ou não, conscientes ou sensoriais, tecnicamente operacionais ou inteiramente subjetivas, sempre representando um alvo móvel no mercado. Portanto, o sucesso de um produto não é uma determinação do engenheiro, do departamento de marketing e nem da alta gerência, mas sim de " sua excelência o cliente ".

A tarefa com que se defronta o engenheiro no projeto e desenvolvimento é em última análise produzir um bem que incorpore o maior benefício para seu usuário final. Isso é mais do que projetar uma máquina que funcione, mais do que um componente que não falhe, é projetar e produzir um produto que dê ao cliente o que ele deseja a um preço que ele considera adequado e no tempo que ele precisa. A tendência, como resultado da equiparação tecnológica e da competição, é o cliente procurar pelo produto com o máximo benefício, ou seja, produto melhor que qualquer competidor.

Porém, como é possível que após muito capital investido e anos de desenvolvimento, o produto após seu lançamento fracasse não atingindo o volume de venda esperado? Por que tem que se fazer tantas modificações no produto já lançado elevando substancialmente os custos? Por que tantos defeitos e reclamações de clientes e tanto gasto com despesas de garantia? Um produto é resultado de um processo, que se inicia

na sua concepção passando pelo projeto, sua fabricação, venda e suporte técnico (pós-venda). Porém não há esforço de promoção e propaganda que faça deslanchar um mau produto, bem como não há processo de manufatura que conserte um produto mal projetado. Da mesma forma não há processo de projeto que conserte um produto mal concebido e não há produto bem concebido que resista a um mau processo de projeto. Portanto, o sucesso do produto começa na sua concepção e depende de um processo de projeto capaz de materializar essa concepção.

O conceito de Produto Total amplia a dimensão da que venha a ser uma peça, conjunto ou máquina. Enquanto o engenheiro projeta peças, conjuntos ou máquinas, o cliente compra solução de problemas ou satisfação de necessidades. Por exemplo, o engenheiro projeta um par de engrenagens, porém o cliente compra transmissão de torque e movimento. Assim, do ponto de vista do cliente entram aspectos tais como: preço, nível de ruído, eficiência, facilidade de se encontrar a peça no mercado para reposição, vida útil, imagem da empresa, reputação do fabricante, suporte técnico, etc. A esta dimensão mais ampla, damos o nome de Produto Total, que leva o produto a ter sucesso no mercado.

Por consequência, surge o processo de Projeto Total como forma de se obter um Produto Total. O Projeto Total vem da constatação de que a qualidade de concepção de um produto é determinada na fase de projeto. Ao mesmo tempo, Projeto Total se coaduna com conceitos de qualidade de projeto e controle de qualidade na engenharia, em total sintonia com a Gerência de Qualidade Total.

Soluções efetivas para a maioria dos problemas atuais requerem novas abordagens como resultado de novos paradigmas da sociedade aos quais tanto a administração e gerência, quanto a engenharia tradicionais não correspondem. São necessárias abordagens holísticas para os novos problemas, daí

surgirem conceitos como Qualidade Total, Marketing Total, Reengenharia, aos quais juntamos nossa proposta de Produto Total e Projeto Total. Em última análise, é objeto da engenharia fazer uso de leis e recursos da natureza, através do conhecimento científico, em benefício da sociedade.

O ingrediente básico da sociedade é a mudança. Ao engenheiro não só cabe o desafio de entender essas mudanças, mas também em que direção estão seguindo. Mais ainda, procurar entender a influência da tecnologia - e dos produtos e máquinas e seus sistemas de produção em particular - nessas mudanças. O objetivo mais importante da profissão de engenharia é fazer projetos e produtos que promovam a mudança em direção a uma melhor qualidade de vida.

## 1.1 - Objetivos

Da constatação da importância da concepção correta do produto e da importância do projeto no seu desenvolvimento, este trabalho propõe o conceito de Produto Total e de Projeto Total.

A partir das necessidades do cliente, são colocadas as dimensões, que ao nosso ver, devem ser consideradas na concepção do Produto Total para sua completa definição, estruturado de forma que aquelas dimensões possam ser trabalhadas no projeto. Em seguida, o processo de Projeto Total detalha as fases, ferramentas, técnicas e cuidados envolvidos no desenvolvimento do produto. Com isso, procuramos atender ao imperativo de competitividade atual: qualidade, custo e prazo (entrega).

Pretende-se ainda, introduzir medidas e indicadores para controle de qualidade em engenharia e sugere o "como fazer" para garantia de qualidade de projeto, em linha com os princípios de Gerência de Qualidade Total.

A sua originalidade decorre em primeiro lugar da junção de conhecimentos multidisciplinares que formam uma estrutura capaz de ser utilizada pela engenharia e com uma linguagem apropriada para geração de produtos de sucesso. Assim, empresta de marketing a noção de produto; da produção, o controle de qualidade; da economia, a noção de valor e custo, etc.,. Em segundo lugar, por abordar o projeto como fator determinante para o sucesso de um produto e competitividade de uma empresa.

O estudo, sem perda de generalidade, recorre a indústria automobilística, pelas suas características próprias de grande efeito multiplicador. O automóvel sofre forte impacto da satisfação do cliente no sentido amplo, abrangendo os aspectos intangíveis (status, modernidade, estilo) e tangíveis (custo, defeitos, custo de manutenção).

## 1.2 - Motivações

Fomos motivados para este trabalho em busca de respostas para inúmeras perguntas, que nos eram colocadas durante nossa vida profissional. Entre muitas, destacamos algumas:

- . Por que tanta coisa sai errada na produção depois do projeto concluído?
- . Por que tantos produtos fracassam e poucos têm sucesso? Por que tantos produtos errados?
- . Por que não há controle de qualidade nas áreas de engenharia e projeto? E quando tem, quais as medidas e indicadores?
- . Por que nós engenheiros, que sabemos tantos processos, técnicas, ciência fundamental, etc., não conseguimos juntar tudo isso e fazer um produto de valor para o cliente, no tempo certo?
- . Qual seria a " nova engenharia de produto " ou " como projetar novos produtos após os terremotos organizacionais da busca do " mais com menos ": Qualidade Total, Reengenharia, Terceirização, " Downsizing ", " Lean Production ", etc,?

O assunto, embora de suma importância para a indústria e consumidores em geral, não tem sido abordado no meio acadêmico. Quando se analisam as razões de fracasso ou sucesso de produtos restringe-se o estudo aos aspectos mercadológicos. Quando se fala em qualidade, restringe-se aos controles na área de manufatura na maioria das indústrias, embora já exista um movimento em direção da extensão da qualidade a todas as áreas das empresas.

## 2. ESCOPO E METODOLOGIA

### 2.1 - Escopo

Esta tese contempla principalmente o ciclo de desenvolvimento de novos produtos, podendo também ser utilizada para aperfeiçoamento de produtos já existentes. Mais especificamente, o estudo aborda a concepção de produto, de onde derivam suas características e o processo de projeto que vai resultar em listas de especificações e desenhos que vão permitir sua fabricação.

Ainda que os modelos aqui propostos tenham aplicabilidade geral, o estudo reflete basicamente a indústria automobilística. A escolha desse setor, deve-se a vários fatores. Em primeiro lugar, é um setor industrial de suma importância devido à sua cadeia produtiva, que vive um ambiente extremamente competitivo com a abertura de mercado aos produtos importados. Segundo, a pressão pela qualidade e baixo custo nessa atividade é determinante para a sobrevivência dos produtos. Terceiro, a indústria automobilística, devido à sua cadeia produtiva, inicia um produto com macro-projetos que vão se desdobrando até micro-projetos de componentes e peças específicas, individualizadas e desenvolvidas por fornecedores com ou sem a supervisão dos engenheiros da montadora. Esse universo propicia um vasto campo de estudo das peculiaridades de projeto. Em quarto lugar, o setor apresenta estudos de casos e estatísticas publicadas e confiáveis. Finalmente, a nossa experiência profissional nessa atividade industrial.

Esta tese é resultado de pesquisa teórica-aplicada, que a partir da análise de vários casos e observação de diversas áreas de projeto de empresas de variados portes, procura sistematizar procedimentos para o desenvolvimento de produto

dando a este um novo enfoque.

O objetivo de uma tese é, naturalmente, aumentar o conhecimento da humanidade, fazendo-o de maneira que esse acréscimo de estoque seja de conhecimento científico, conforme PLONSKY (1985). Difere ele das outras formas de conhecimento (popular, filosófico ou religioso) por ser, segundo LAKATOS; MARCONI (1983) apud PLONSKY (1985) p.25:

- factual, pois lida com ocorrências;
- contingente, eis que as proposições têm sua veracidade ou falsidade conhecida pela experiência;
- sistemático, já que trata de um conhecimento estruturado logicamente;
- verificável por outros, que não o autor;
- falível, isto é, não definitivo;
- aproximadamente exato, ou seja, novas proposições podem reformular os modelos existentes.

Os dois últimos fatores destacam a provisoriedade do conhecimento científico que evolui pela formulação de novos modelos que superam os vigentes.

Uma forma sucinta de explicar a provisoriedade do conhecimento científico é dado pelo Prof. MILTON VARGAS (1985), no seu texto sobre Verdade, Verificação e Reputação na Pesquisa Tecnológica p. 196, apud PLONSKY (1985) p.27:

"(...) se o resultado de uma pesquisa tecnológica consubstanciado num relatório, dissertação ou tese apresentar-se logicamente consistente e coerente e se suas conclusões (baseadas em proposições verificáveis) estiverem de acordo com proposições de observações feitas em experiências - organizadas de acordo com a teoria implícita nesse relatório, dissertação ou tese - então esse resultado estabelece-se como verdade irresistível, isto é, impossível de ser negada nas circunstâncias em que for verificada. (...) Entretanto, de nenhuma forma essa verdade irresistível pode ser tomada como absoluta. Ela só valerá dentro das circunstâncias em que foi verificada. Em outras circunstâncias a tese deixará de ser válida e a teoria deve ser revista; porém deverá conter a primeira como um seu caso particular."

No próprio estudo ora apresentado verifica-se a situação exposta pelo Prof. Vargas na última frase, quando o Produto Total engloba conceito corrente para produto e Projeto Total engloba o projeto tradicional.

## 2.2 - Metodologia

Quanto à metodologia científica, pela própria natureza do estudo, optou-se por aquela desenvolvida por Karl Popper, um dos maiores filósofos da ciência, que publicou na década de 30 o clássico livro "A Lógica da Pesquisa Científica". O método ali preconizado tem três momentos; PLONSKY (1985):

1) Surgimento de um problema, em face de uma ruptura no quadro de referência preexistente.

Essa ruptura se dá ou por fatos práticos ou por questionamentos teóricos. Neste estudo, os resultados práticos dos conceitos de produto e projeto até então utilizados mostraram-se incapazes de gerar produtos de sucesso de modo constante e previsível.

2) Solução do conflito mediante um novo modelo, passível de verificação.

Esses novos modelos são Produto Total e Projeto Total, que superam os anteriores, originaram-se daquilo que acabou se constituindo no problema. Assim, Projeto Total, por exemplo, deriva da percepção de que o processo de projeto convencional não atende aos requisitos de gerar um Produto Total.

3) Corroboração do novo modelo

Essa corroboração ( e não "confirmação", segundo Popper), é baseada num esforço para conseguir falsear os resultados do modelo proposto. Por exemplo, uma empresa que esteja adotando Produto Total e Projeto Total, então ela terá grande probabilidade de lançar um produto de sucesso. O fato de que todas

as empresas que se utilizam do Produto Total e Projeto Total tenham sucesso, não confirma o modelo, apenas o corrobora provisoriamente.

Em resumo, o estudo tem as seguintes orientações metodológicas:

- a) Adota o método popperiano de obtenção de novos conhecimentos;
- b) Insiste no questionamento conceitual do modelo existente, porque foi nele que se detectou o problema;
- c) Gera novos modelos valendo-se da abordagem sistêmica cujas diretrizes são, de acordo com ACKOFF (1981) apud PLONSKY (1985) p.32:
  - expansionismo, ou seja, buscar a compreensão do comportamento de um sistema referindo-se ao sistema maior que o contém ao invés de reduzi-lo aos seus elementos constituintes;
  - adotar como básica a relação fator-produto e não a de causa-efeito; em outras palavras, não existe uma explicação única e completa para um dado fenômeno que seja válida sempre; ela deve estar referida ao contexto em que o fenômeno ocorre, pois condicionantes desse ambiente interagem com o fator considerado para coletivamente gerarem o fenômeno;
  - teleleogia, ou seja, considerar que um sistema tem objetivos e busca realizá-los.
- d) enfatiza a descrição do contexto específico em que essa inovação ocorre;
- e) inclui a análise de dados reais e que no caso foram tratados de forma quantitativa;
- f) executa o teste popperiano de falseamento dos novos modelos enunciados para corroborá-los mediante avaliação "ex-post facto" das experiências havidas, à luz dos novos modelos. Ou seja, mostra-se que o modelo conceitual vigente levou a insucessos predizíveis pelos novos modelos. De fato, o conhecimento científico deve permitir prognosticar tanto o futuro

como o passado, isto é "predizer" e "retrodizer", segundo  
LAKATOS; MARCONI (1983) apud PLONSKY (1985).

### 3. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DAS PESQUISAS

A concepção correta de um produto para satisfazer as necessidades dos clientes e o processo de projeto para materializá-lo encontram-se distribuídos pelas áreas de conhecimento, refletindo uma abordagem de desenvolvimento de produto compartimentalizada. Assim, da área de marketing encontramos a concepção de produto centrada na utilização pelo cliente, ressaltando aspectos promocionais. Na área de qualidade o foco é aperfeiçoamento do processo de produção. Na área de engenharia os estudos estão voltados para projeto com foco no dimensionamento correto.

LEVITT (1960) no seu clássico artigo "Marketing Myopia" pela primeira vez chamou à atenção para a necessidade de uma conceituação mais ampla de produto. LEVITT (1975) aprofundou a análise do que vem a ser um produto e LEVITT (1990) estabeleceu o conceito de produto amplo, sempre do ponto de vista de marketing. Somente a partir da década de 90 começaram a surgir enfoques na conceituação de produto que atendessem às áreas técnicas envolvidas com projeto. CLARK; FUJIMOTO (1990) introduzem integridade do produto como causa do sucesso do Honda Accord. Para DAVIDOW; UTTAL (1991) deve ter como característica a facilidade de serviço e suporte técnico. Neste caso desvia-se do produto em si e abrange a organização. Na área de qualidade, produto é definido como qualquer resultado de um processo, conforme JURAN; GRZYNA (1991).

Nos trabalhos voltados para engenharia de projeto não existe a preocupação de conceituar produto. Para citar alguns, NIEMANN (1971), SHIGLEY (1972), ORLOV (1976), RESHETOV (1978) e DOBROVOLSKY (1980) definem o processo de projeto como uma atividade que se inicia com uma necessidade que deverá ser atendida com um produto, mas não estabelecem, a princípio,

do que se compõe esse produto.

ZIAJA (1990) apresenta o resultado de um estudo da Chrysler para orientar o desenvolvimento do produto chamado "Modelo de Produto de Qualidade Total", que nada mais é do que o atendimento das oito dimensões da qualidade propostas por GARVIN (1984) apud TOLEDO (1987). Esse modelo não contém as características de sociabilidade, integridade, robustez, valor total, podendo ser compreendido como um subproduto do conceito de Produto Total.

CLARK; FUJIMOTO (1991) após concluírem uma análise da indústria automobilística japonesa colocaram o conceito de Veículo Total como arma competitiva. Esse conceito é o mesmo que foi apresentado no trabalho anterior como integridade de produto.

Nas concepções propostas para produto faltava a junção do cliente externo, cliente interno e processo, conforme exposto no conceito do Produto Total. A linguagem para descrição do conceito de produto também não se adequava às necessidades da área técnica de projeto.

O processo de projeto conforme apresentado por GREGORY (1966), SHIGLEY (1972) e ORLOV (1976) e outros textos voltados para projeto de máquinas era uma atividade sequencial, onde cada fase concluída dava início a outra, da concepção à produção. A característica básica do processo era o desenvolvimento por departamento.

A mudança no processo de projeto começou a partir do Projeto Taurus da Ford Motor Company, que estabeleceu o conceito "do cliente para o cliente" conforme relatam CLARK; FUJIMOTO (1990).

Em NIEMANN (1971) encontramos pela primeira vez a menção ao desenvolvimento paralelo que seria chamada de Engenharia Simultânea. WHEELRIGHT; SASSER (1989) propuseram um desenvolvimento de produto por plataforma-de-produto, come-

çando por produtos baratos e evoluindo para os mais caros, o caso clássico é a Sony. O clássico estudo do MIT: "The Machine That Changed the World", realizado por WOMACK; JONES; ROOS (1991) chamou a atenção para a competitividade da indústria automobilística japonesa que projetava novos produtos na metade do tempo dos competidores ocidentais. Naquele estudo destacava-se um processo de projeto integrado, mais amplo que o Projeto Taurus. CLARK; FUJIMOTO (1991) analisaram particularidades da competitividade japonesa em projeto de automóveis com enfoque somente organizacional, mostrando a simultaneidade da Engenharia de Produto e de Processo. WHEELRIGHT; CLARK (1992a) analisaram os altos custos do projeto e propuseram o plano de projeto agregado, que se resume em priorizar projetos e aproveitar sinergia das várias equipes de desenvolvimento. O estudo é na realidade uma proposta de Gerência de Engenharia e não processo de projeto.

Novamente WHEELRIGHT; CLARK (1992b) mostraram a capacidade competitiva da empresa determinada pela sua habilidade e agilidade no desenvolvimento de produto, englobando outras indústrias além da automobilística. Na realidade nesse estudo detalham e propõem uma organização para atender as dimensões de competitividade proposta por STALK et al. (1992).

Por sua vez, STALK; HOUT (1993) afirmam que a última fronteira da competição será o tempo: rapidez no projeto e lançamento de novos produtos. A capacidade de adaptação dos sistemas produtivos de se adequar às exigências do mercado é medida por duas dimensões propostas por AGOSTINHO (1992): adaptabilidade e flexibilidade, ambas sofrem forte influência do processo de projeto de produto.

Na literatura voltada para projeto encontramos em HALL et al. (1979) trinta e seis projetos propostos e apenas um envolve controle de qualidade na produção e nenhuma menção no texto. NIEMANN (1971) chama a atenção para o "benchmarking"

em projeto.

SHIEGLEY (1972), JUVINALL; MARSHEK (1991) introduzem estatística em projeto para análise de tolerâncias e tensões admissíveis de forma superficial como controle estatístico de qualidade. DOBROVOLSKY (1980) menciona o conceito de "qualidade local" aplicado a materiais.

A importância da qualidade em projeto é encontrada na literatura voltada para qualidade, como em ISHIKAWA (1985), MIZUNO (1988), ISHIKAWA (1990), FEIGENBAUM (1991) e JURAN; GRZYNA (1992) com enfoque em projetos para manufatura. Assim, encontramos em HUIZENGA et al. (1987) a necessidade do envolvimento de manufatura no início do projeto; em RADO (1989) o uso do índice de capacidade no planejamento de produto, em MELAN (1989) a melhoria da resposta em desenvolvimento de produto. O projeto para manufatura teve início em 1983, de acordo com STOLL (1988), embora ORLOV (1976) já o descrevesse como projeto para montagem. STOLL (1988) e SCHONBERGER (1992) apresentam uma série de regras de projeto para manufatura.

DAETZ (1987) mostra o impacto do projeto no custo e qualidade do produto como resultado do projeto para manufatura.

BARKAN; HINCKLEY (1993) alertam para o uso cuidadoso das regras de projeto para montagem, que podem levar a produtos mais caros e de complexidade tecnológica desnecessária. Aparentam também cinco fatores fundamentais que contribuem para defeito de montagem, todos tendo como origem, o projeto.

Finalmente, um sistema de garantia de qualidade de projeto é exposto na série de normas ISO SÉRIE 9000. Em ROTHERY (1993) e MARANHÃO (1993) temos um estudo completo das normas ISO SÉRIE 9000 e um roteiro para qualificação. A ISO 9000 junto com a ISO 9001 e as diretrizes da ISO 9004 estabelecem o conceito de qualidade em projeto especificando o que deve ter mas não como fazer o projeto, também não trata da conceitualização do produto.

## 4. PROJETO DE MÁQUINAS

### 4.1 - Objetivos do Projeto de Máquinas

O principal objetivo do engenheiro é desenvolver um produto que atenda completamente o objetivo para o qual foi criado, resultando assim em ganhos sociais e econômicos tanto para a empresa como para a nação. O novo produto deve portanto incorporar o maior valor, traduzido pela melhor relação custo benefício e ter as melhores características técnicas e operacionais.

As mais importantes características de uma máquina são produtividade (1), eficiência (2), confiabilidade, peso, tamanho, energia consumida pelo trabalho gerado, dimensão, custo de reparos, custo de produção, vida em serviço, frequência de reparos, grau de automação, simplicidade e facilidade de operação, montagem e desmontagem. Toda a máquina deve também ter característica de estilo e forma, isto é, deve ter um acabamento simples, mas atraente e de bom gosto.

A prioridade entre as características acima depende da aplicação da máquina, alguns exemplos a seguir adaptados de NIEMANN (1971); ORLOV (1976); JUVINALL e MARSEHEK (1991).

- . Geradores e conversores de energia
  - A característica principal é sua eficiência, que é um indicativo do grau de conversão ou geração de energia utilizável.
- . Ferramentas automáticas
  - Produtividade, precisão e confiabilidade de operação, grau de automação e segurança no uso.
- . Máquinas-Ferramentas
  - Produtividade, precisão de corte e leque de operações, grau de automação, segurança de operação, confiabilidade, facilidade de manutenção.

(1) Produtividade é aqui entendida como quantidade produzida por unidade de tempo.

(2) Eficiência é aqui entendida como quantidade produzida por energia consumida.

- . Instrumentos de Medida e Controle
- Sensibilidade , precisão, estabilidade de leituras.
- . Meios de Transporte
- Relação peso/potência, economia de combustível e autonomia.

As considerações econômicas são, obviamente, de maior importância em engenharia, portanto, no projeto o engenheiro deve fazer o melhor para obter uma máquina o mais econômica possível. Isso é obtido aumentando sua vida em operação, reduzindo custos de projeto, fabricação, venda e operação.

#### 4.2 - Conceito do Projeto de Máquinas, Componentes e Produto

De acordo com BEREZOVSKY et al. (1988), projeto mecânico significa o projeto de objetos ou sistemas de natureza mecânica, tais como máquinas, estruturas, mecanismos, dispositivos e instrumentos. Quando aplicada a máquinas somente, adota-se o nome usual de Projeto de Máquinas.

Projeto de Máquinas trata da definição e elaboração de planos para construção, fabricação e operação de um conjunto de componentes para o desempenho de uma função pré-estabelecida.

Projeto de Componentes trata do cálculo, dimensionamento, especificação das características mecânicas e de fabricação de unidades independentes, que chamamos de peças, que montadas em conjunto, constituem uma máquina, mecanismo ou sistema.

Projeto de Produto é o desenvolvimento de qualquer item ou combinação de itens da sua concepção ao final da linha de produção. Tanto pode ser uma peça única, como um parafuso ou um pneu, ou um conjunto de componentes como um carro ou um avião.

#### 4.3 - Requisitos Básicos de Máquinas e Elementos de Máquinas

As máquinas têm por finalidade ampliar as potencialidades humanas; dito de outra forma, significa prover conforto, lazer, facilidade na execução das atividades humanas.

Uma definição geral de máquina pode ser a seguinte:

- A máquina é a combinação de um número de unidades destinadas a executar um trabalho relacionado a um processo de produção. MOVNIN; GOLTZIKER (1969).

Partindo-se dessa definição, as máquinas se classificam em quatro grupos, conforme mostrado na tabela 4.1.

Tabela 4.1 CLASSIFICAÇÃO DE MÁQUINAS POR FUNÇÃO

MÁQUINAS	FUNÇÃO
MOTORA OU MOTRIZ PRIMÁRIA	Converter alguma forma de energia, (elétrica, térmica, química, etc.) em trabalho mecânico. Ex.: motores elétricos, motores de combustão interna.
DE CONVERSÃO	Transformar o trabalho mecânico em alguma outra forma de energia. Ex.: geradores elétricos, bombas hidráulicas.
DE TRANSPORTE	Converter trabalho mecânico realizado por um motor em trabalho mecânico envolvido na movimentação e transporte de certa massa. Ex.: automóveis, navios, robôs, pontes-rolantes.
DE PRODUÇÃO	Executar certos processos tecnológicos, ou seja, modificar as propriedades de forma, tamanho ou estado de um material processado. Ex.: fresadoras, prensas, máquinas de eletro-erosão.

Fonte: Adaptada de MOVNIN; GOLTZIKER (1969) p.11 e BEREZOVSKY et al. (1988) p. 12.

Uma definição de máquina que infere em maior detalhe a sua composição e que auxilia no entendimento da técnica Desdobramento da Função de Qualidade (QFD) é fornecida por BEREZOVSKY et al. (1988):

-Máquina é a combinação de peças arranjadas de tal forma, que as forças mecânicas da natureza podem ser compelidas a produzir algum efeito de trabalho acompanhado de certos e determinados movimentos.

Em geral, pode-se dizer que a máquina é uma montagem de peças interpostas entre uma fonte de potência e uma saída de trabalho, com o propósito de se adequar um ao outro.

Assim, uma unidade de máquina é a combinação de uma unidade motriz (M), um mecanismo de transmissão (MT) e uma saída de trabalho (ST). A operação da unidade motriz e da saída de trabalho é coordenada pelo mecanismo de controle (C) que pode ser manual ou automático, conforme esquema da Figura 4.1.

No caso de um automóvel temos motor (M), câmbio/transmissão (MT) as rodas (ST) e os pedais freio/embreagem/acelerador (C). Cada um desses elementos afeta o cliente a seu modo, resultando na insatisfação ou rejeição da máquina. A insatisfação pode acontecer com o conjunto, o que também pode levar à rejeição da máquina.

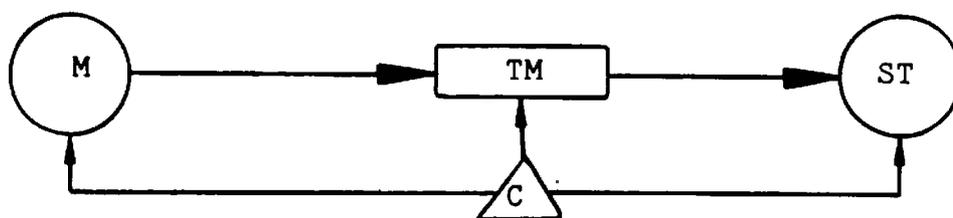


Fig. 4.1 Esquema genérico de uma máquina.

#### 4.3.1 - Requisitos Básicos do Fabricante

Com o objetivo de fornecer o maior valor para o cliente, o fabricante deve atender os seguintes requisitos no projeto e fabricação da máquina, conforme a demanda da sociedade:

- Intensidade do processo tecnológico:
  - . maior produção
  - . maior potência por unidade
  - . maior velocidade
  - . maiores esforços
- Aperfeiçoamento contínuo:
  - . maior eficiência (fazer mais com menos)
  - . redução de desperdício
  - . redução do peso e tamanho das máquinas
  - . maior uso de automação (eletrônica digital)
  - . maior confiabilidade
  - . maior durabilidade
  - . menor número de defeitos na produção
- Melhor utilização do capital:
  - . maior efetividade econômica da operação
  - . facilidade de serviço
  - . maior segurança para o operador/usuário

#### 4.3.2 - Requisitos Básicos do Cliente

Naturalmente cada máquina gera uma particular expectativa para o cliente, expectativa nem sempre verbalizada em termos de características técnicas ou mensuráveis. Os requisitos básicos de todas as máquinas, independente da destinação ou aplicação, do ponto de vista do cliente, em geral são os seguintes:

- . Maior geração de trabalho - maior rendimento
- . Facilidade e simplicidade de montagem e desmontagem

- . Facilidade e simplicidade de serviço e manutenção
- . Facilidade e simplicidade de controle
- . Baixo custo de aquisição e utilização
- . Confiabilidade (operar por longo tempo sem falha)
- . Longa vida em operação - durabilidade
- . Operacionalmente segura
- . Tamanho e peso adequados
- . Estética

Esses requisitos têm uma definição técnica para o engenheiro. Porém, na interpretação do cliente se traduzem em valores. A seguir, apresentamos a conceituação técnica e qual a tradução de valor dada pelo cliente.

a) Resistência

Os componentes ou máquina devem funcionar sem quebras, sob aplicação de forças/solicitações de acordo com a especificação para sua vida útil; admitindo-se curtas e eventuais sobrecargas. Valor para o cliente traduz-se em confiabilidade.

b) Rigidez

Os componentes não se devem deformar sob a aplicação das solicitações especificadas para sua vida útil, além dos valores pré-estabelecidos em projeto. A garantia desse quesito é fundamental para facilidade de serviço e manutenção. Valor para o cliente traduz-se em resistência.

c) Resistência ao desgaste

O desgaste superficial dos componentes e superfícies aparentes não deve comprometer sua resistência e nem o movimento relativo entre as partes. Também não deve alterar sua aparência externa antes da vida útil especificada. Valor para o cliente traduz-se em durabilidade.

d) Tamanho e peso adequados

O componente ou a máquina deve ser suficientemente resistente (forte), rígido (tenaz), resistente ao desgaste (durável) e ao mesmo tempo ter a menor dimensão e peso possíveis para o desempenho da função. Valor para o cliente traduz-se em

produto com tecnologia fornecido por uma empresa com liderança tecnológica.

e) Utilização de materiais e componentes padronizados

Além de assegurar fornecimento regular à linha de produção, é uma segurança adicional para o cliente a facilidade em encontrar peças de reposição. Valor para o cliente traduz-se em baixo custo de serviço e manutenção e maior valor de revenda.

f) Operacionalmente seguro

A forma e as dimensões dos componentes ou da máquina, devem garantir completa segurança na utilização, tanto no serviço e manutenção, como também para o pessoal durante o processo de fabricação. Valor para o cliente traduz-se em segurança.

g) Atender às normas legais

Os componentes e a máquina devem estar de acordo com a legislação em vigor. Valor para o cliente traduz-se em legalidade.

h) Estética

A forma segue a função. A primeira impressão que uma máquina deve causar no cliente deve estar intimamente ligada com a função da máquina e o cuidado na sua fabricação. Valor para o cliente traduz-se em qualidade.

Esta última característica pode parecer fora de propósito, porém, qualidade para o cliente tem muitos significados, alguns até conflitantes. O cliente pode não definir qualidade, mas quando ela existe, ele reconhece imediatamente.

#### 4.4 - O Ambiente de Projeto de Produto/Máquinas

As principais mudanças no mercado e novos valores sociais que exercem e exercerão forte pressão sobre o projeto de produto, máquinas e componentes são apresentados a seguir, adaptado de URBAN et al. (1987):

.O custo do capital torna-se cada vez mais alto.

.A competição torna-se cada vez mais acirrada e passa a ter

características globais.

.As empresas procuram, cada vez mais, outras áreas fora das suas aplicações correntes - diversificação.

.Nações industrializadas estarão agressivamente aumentando apoio à alta tecnologia orientadas para a expansão dos negócios.

.Os mercados vão se tornando mais maduros e saturados

.Os hábitos e estilo de vida do consumidor continuarão a mudar.

.Os compradores se tornarão cada vez mais sofisticados e bem informados.

.As mudanças tecnológicas ocorrerão mais rapidamente.

.O ciclo de vida do produto tende a se tornar cada vez mais curto.

.Pressões ambientais dos governos, consumidores e da força de trabalho (sindicatos) tendem a aumentar.

.A redução de recursos e flutuações nos preços de matérias-primas vão tornar o controle dos custos cada vez mais difícil.

O reconhecimento de que o projeto é uma atividade que envolve incontáveis variáveis e sofre forte impacto do ambiente sócio-econômico data de há muito tempo, conforme identificamos em BACH (1901), em tradução livre:

" Eu tenho a consciência da impossibilidade de querer limitar as inumeráveis quantidades, muitas vezes variáveis de um lugar para o outro, de considerações técnicas, comerciais e geralmente dependentes da natureza humana, as quais o Engenheiro Mecânico deve levar em consideração em seu trabalho, e cuja observação atenta é precisamente a característica do verdadeiro construtor (BACH, (1901), p.II).

#### 4.5 - O Processo do Projeto de Máquinas

O processo de projeto é um processo de criação e portanto difícil de sumarizar em uma simples fórmula de projeto, em um livro ou em uma definição precisa. Em geral o projeto pode ser enquadrado em uma das características abaixo:

1. Pode ser o trabalho de uma pessoa.
2. Pode ser o esforço de um grupo de trabalho.
3. Pode emanar da intuição criativa ou de uma decisão executiva baseada em pesquisa de mercado.
4. Geralmente é restrito pela disponibilidade de recursos, considerações organizacionais, políticas, sociais e estéticas, tendo por objetivo, naturalmente, uma aceitação pelo usuário final - o cliente.

O projeto de máquinas é um processo de criação, invenção e definição envolvendo uma eventual síntese de fatores que contribuem e frequentemente conflitam entre si. O resultado é um produto a um preço comercialmente viável, com qualidade competitiva e socialmente aceitável. Nesse sentido, o projeto de máquinas é também uma arte.

Uma nova máquina ou produto aparece sempre como uma necessidade real ou imaginária. É consequência de uma concepção traduzida em um mecanismo ou um bem destinado a atingir um fim particular qualquer. O projeto real é uma combinação de princípios teóricos com indicações práticas, resultantes do bom senso e da experiência, conforme esquema da Figura 4.2.



Fig. 4.2 Processamento do conceito para se conceber o produto.

São diversos os fatores que influenciam o projeto, portanto, deve-se sempre estar preparado para certos compromissos. A concorrência, por exemplo, poderá forçar a uma decisão não muito do agrado do projetista, porém adequada no que diz respeito a produção e custos competitivos. Contudo, não se deve nunca desviar-se do objetivo de se obter produto de valor para o cliente.

Deve-se compreender que a ciência pode apenas estabelecer limites dentro dos quais uma decisão deve ser tomada, ou evidenciar estatisticamente os efeitos de uma certa decisão. Assim, o projeto de uma máquina deve seguir um esquema de trabalho semelhante ao apresentado na Figura 4.3.

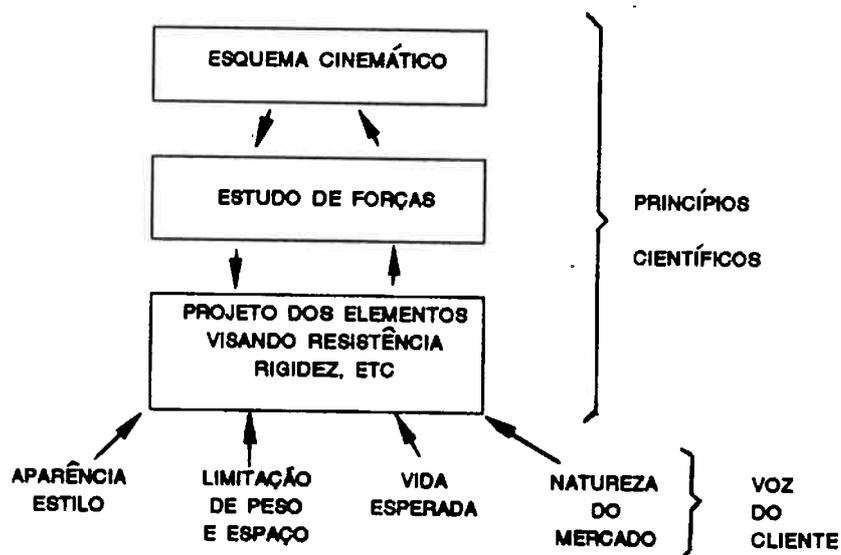


Fig. 4.3 Esquema das interações e solicitações para o projeto de máquinas.

A maioria dos projetos segue linhas peculiares ou típicas de uma indústria. No caso de um novo modelo de automóvel, este é muito semelhante em vários aspectos ao modelo anterior. As modificações resultantes da experiência acumulada com o modelo anterior são introduzidas para tecnicamente melhorar o produto e gerar ou manter vantagens competitivas no mercado.

Do ponto de vista de marketing, o processo de projeto se divide em três partes fundamentais:

1. Identificação dos benefícios principais, que o novo produto deve oferecer.
2. Posição psicológica desses benefícios vis-a-vis produtos da competição presentes ou futuros.
3. Atendimento das promessas do produto em termos de características físicas e conteúdo.

Existem roteiros para o processo de projeto que auxiliam o projetista nas tomadas de decisões, de forma a aumentar a probabilidade de sucesso de um novo produto. Não é certo que um produto (máquina) projetado e desenvolvido de acordo com roteiros e normas será um bom projeto, mas é quase certo, que não será um mau produto.

Na literatura técnica, principalmente nos livros que tratam do projeto de máquinas ou mesmo dos seus componentes, são apresentados diversos modelos que representam o fluxo-grama do processo de projeto. Todos têm em comum o seguinte:

- a) Começa com o reconhecimento de uma necessidade.
- b) É um processo iterativo.
- c) Compõe-se de várias atividades consecutivas.
- d) Não tem uma única alternativa.

Começamos com um modelo genérico, porém mais detalhado se comparado com aquele da Figura 4.3. O esquema proposto é representado na Figura 4.4, onde os estágios têm a conceituação conforme segue:

- . Reconhecimento de Uma Necessidade:
  - Atender uma necessidade ou desejo humano. Deve ser estabelecido em palavras da forma mais clara possível nesse estágio do processo. Esses dados têm origem em várias fontes: pesquisa de mercado, reclamações de clientes, atender legislação específica, etc.

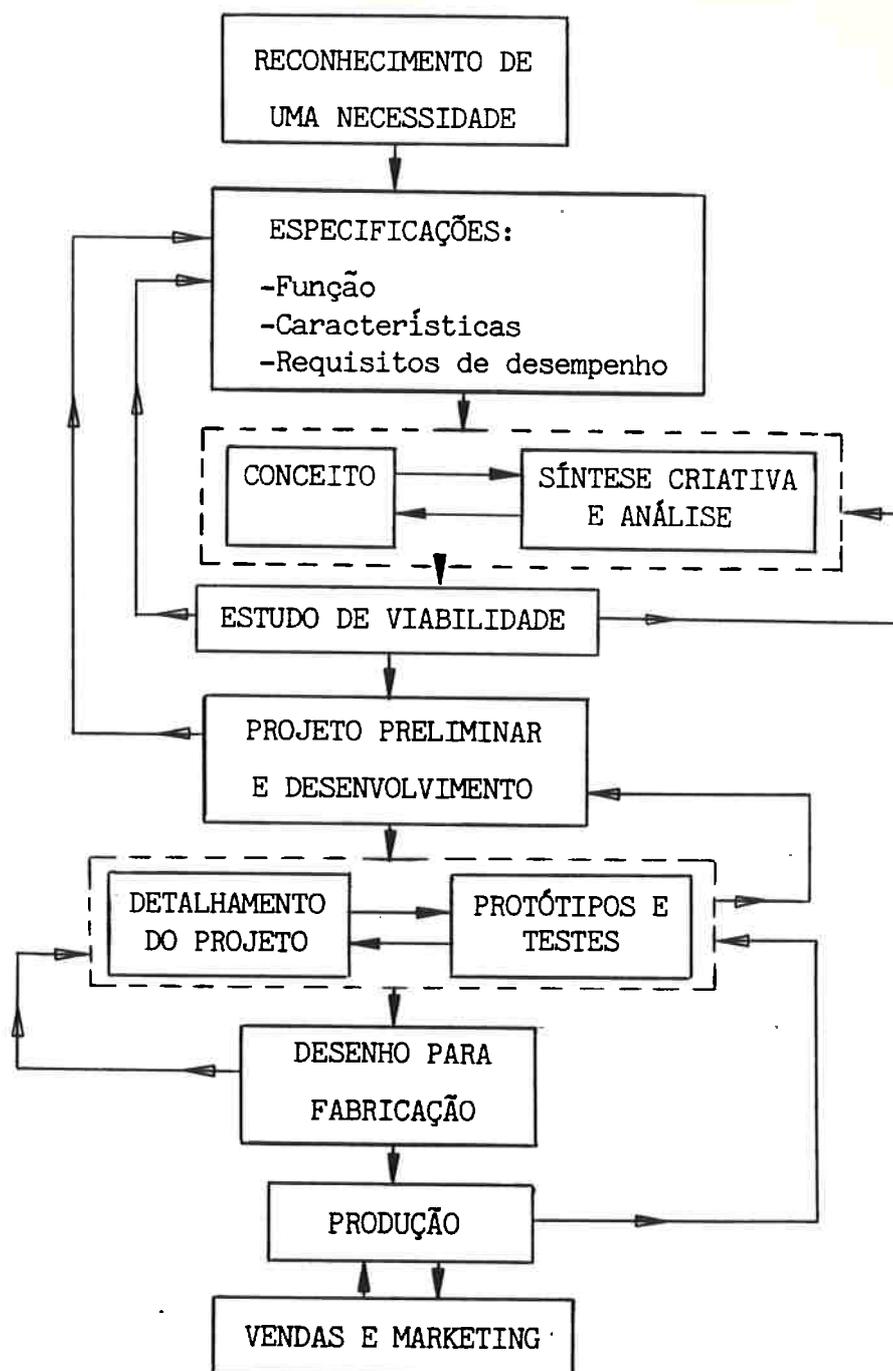


Fig. 4.4 Fluxograma do Processo de Projeto.

#### . Especificações

- Trata-se da descrição de funções e parâmetros claros para desempenho, tendo em vista atender as necessidades identificadas na fase anterior. Normalmente, a fase inicial do projeto é mais demorada porque os requisitos de desempenho são apresentados pelos clientes de forma genérica. Não se deve partir

para a fase seguinte sem a tradução dos requisitos em linguagem técnica.

#### . Conceito, Síntese Criativa e Análise

- Definir a forma final do produto que atenda às especificações e funcionalidade.

O passo entre a especificação e o conceito é quase uma arte, uma habilidade criativa, que envolve o estudo do problema, registro e avaliação de um certo número de possíveis soluções e a síntese da melhor de todas. Nesse estágio pode ser necessário revisar as especificações se se tornar aparente uma solução impossível ou inviável. Nesse caso, a análise do conceito confrontado com as especificações e as necessidades deve ser feita antes de se dar o passo seguinte.

Aqui são apresentados esquemas teóricos que representam o produto de forma a atender os requisitos científicos da forma final do produto - cinemática, dinâmica, resistência, etc.

#### . Estudos de Viabilidade

- Nesse estado deve ser avaliado se o produto, nos aspectos de funcionalidade e atendimento das especificações, é viável do ponto de vista técnico (projeto e produção) e econômico (a um custo condizente com a necessidade e disponibilidade do cliente). Devem também ser considerados aspectos legais e sociais.

#### . Projeto Preliminar e Desenvolvimento

- Nesse estágio normalmente existe mais de uma solução viável que atende os requisitos e especificações, cada uma privilegiando determinados aspectos dos requisitos de desempenho.

Torna-se necessário decidir qual a melhor solução a ser escolhida para um projeto preliminar e desenvolvimento inicial. As técnicas para a tomada de decisão variam de empresa para empresa, desde simples intuição até sofisticadas

técnicas, envolvendo complexos modelos matemáticos baseados em métodos matriciais e teoria das probabilidades. Mas, invariavelmente, o fator determinante tem sido custo da solução para a maioria das empresas, quando na realidade deveria ser a satisfação do cliente. Ou seja, reduzir custo sem reduzir valor p/o cliente.

#### . Detalhamento do Projeto

- Nesse estágio são produzidos os desenhos técnicos de engenharia que vão permitir a fabricação dos componentes para montagem do protótipo. São normalmente estabelecidos tolerâncias, tratamento do material e acabamento.

#### . Protótipos e Testes

- Os componentes são construídos de forma artesanal para testes de resistência dinâmica e verificação de montagem. Os resultados são utilizados para aperfeiçoar o projeto preliminar, modificando a especificação de tolerâncias, acabamento ou autorização da produção de desenhos finais para fabricação.

#### . Desenhos para Fabricação

- São os desenhos finais de componentes aprovados em testes. Normalmente vêm acompanhados de lista de material, tolerâncias de forma e posição, notas de acabamento, etc. A partir desses desenhos, a engenharia de processo estabelece as etapas de fabricação através do estudo de processo.

#### . Produção e Marketing

- Após todos os estágios anteriores, o produto está pronto para ser fabricado e comercializado. O cliente adquire o produto e manifesta sua insatisfação ou satisfação à área de vendas. A área comercial envia as informações para a área de desenvolvimento e produção para correção das deficiências encontradas nos produtos.

Um guia para ajudar o projetista na produção de produtos confiáveis é sugerido por DEUTSCHMAN et. al. (1975), que engloba as seguintes considerações:

**A. Requisitos do Produto-**

1. Funcional, confiabilidade e outros requisitos estão especificados?
2. Quais são os requisitos de meio ambiente? São razoáveis, baseiam-se na experiência? São baseados em medidas ou conjecturas?
3. Quais são os requisitos de confiabilidade? São eles muito simples ou muito estreitos? Consistentes?

**B. Projeto Preliminar**

1. Qual projeto já provado pode atender os requisitos funcionais?
2. Quais componentes e montagem já padronizados podem ser usados?
3. O meio ambiente mudou tanto para afetar os fatores 1 e 2?
4. A extrapolação das condições atuais é necessária?
5. Existe disponível aconselhamento com especialistas?

**C. Análise do Projeto**

1. Como cada componente e material se comporta sob essas condições?
2. Quão fidedignos são os dados de vida disponíveis?
3. Pode a confiabilidade ser calculada com os dados disponíveis? Existem lacunas e, se assim for, podem ser preenchidas?
4. Quais são os pontos mais fracos do projeto?
5. A confiabilidade é alta o suficiente ou o projeto tem que ser refeito?

**D. Ações Corretivas**

1. Assistência técnica de especialista ajudará?
2. O controle de qualidade ou manufatura pode auxiliar?
3. A confiabilidade é estabelecida por um ou dois componentes? Se assim for, podem eles ser reprojitados ou eliminados?

4. Pode o ambiente ser modificado - aquecido, resfriado, amortecido, isolado?
5. O reprojeto é indicado?  
(Os passos C e D podem ter que ser repetidos muitas vezes).

#### E. Projeto Final

1. Pode a produção, inspeção ou compras auxiliar no estabelecimento da especificação?
2. Podem as especificações ser escritas para assegurar 100% teste e inspeção?
3. Se as características dos componentes não podem ser 100% testadas, são elas adequadas para os procedimentos de fabricação e controle de qualidade?
4. Qual componente pode ser comprado ou subcontratado?  
Existe uma lista de vendedores aprovados?
5. Podem os procedimentos de inspeção e teste inseridos rejeitarem imediatamente peças defeituosas na fabricação?
6. Qual o número de testes e inspeção que deve ser feito em cada estágio? Todas as características devem ser testadas?
7. Quantos testes devem ser feitos com segurança sem reduzir a vida do produto significativamente.

#### F. Reprojeto Após Avaliação de Protótipo

1. Voltar ao passo C.

### 4.6 - Estratégias de Projeto

O período desde a concepção do produto até sua produção e colocação no mercado varia de alguns meses a vários anos, dependendo do projeto. O estágio de projeto pode ser encurtado quando o projetista planeja e executa as estratégias de projeto já estabelecidas. Apresentamos a seguir algumas práticas encontradas em vários tipos de indústria, principalmente na indústria automobilística.

### . Continuidade do Projeto

O projetista deve utilizar-se da experiência prévia adquirida em uma determinada área da indústria, bem como em outras áreas correlatas e introduzir em um projeto específico características úteis das máquinas existentes. Quase toda a máquina moderna é resultado do trabalho de muitas gerações de projetistas. O modelo original da máquina foi gradualmente aperfeiçoado, equipado com novas unidades e mecanismos e se tornando melhor com o resultado das novas modificações.

O conceito de continuidade de projeto não impõe limitações à intuição e criatividade. O projeto de qualquer máquina apresenta um campo ilimitado para o exercício da criatividade de qualquer projetista. Não se deve inventar nada que já foi inventado e não se deve esquecer da regra formulada por GUELDERNER apud. ORLOV (1976) no início do século: Inventar menos, projetar mais. A busca por um projeto perfeito penetra a mente e o corpo do projetista, torna-se sua vida. Entretanto, não se deve esquecer que o inimigo do "bastante bom" é o "perfeito" e quem tem a palavra final sobre o nível de atendimento das exigências é o cliente final.

### .Desenvolver Versões de Projeto

O desenvolvimento de mais alternativas do projeto não é questão de hábitos individuais do projetista, mas um procedimento técnico regular com o objetivo de se obter a melhor alternativa. Geralmente, a versão final do projeto é escolhida após cuidadosa comparação de todos os aspectos na busca do melhor compromisso, revelando certos requisitos que não são de primeira importância em dadas condições de aplicação da máquina, para ressaltar outras, de grande valor para o cliente ou usuário final.

### . Projeto Reverso

Entre muitas estratégias para facilitar o projeto existe o método da reversão. Em essência, consiste na inversão das

funções, forma ou posição de peças. Na Figura 4.5, apresentamos alguns exemplos encontrados em ORLOV (1976).

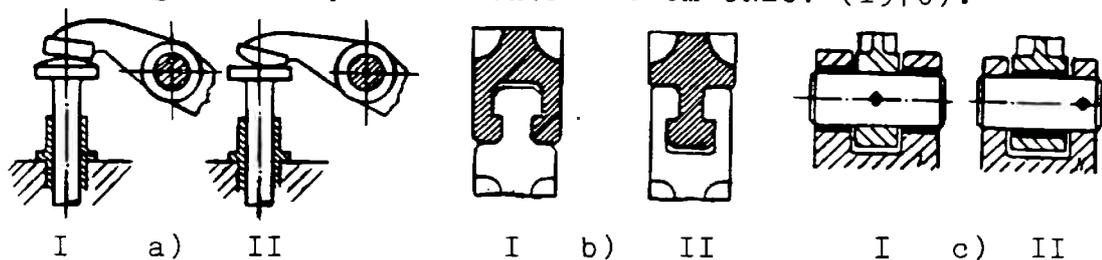


Fig. 4.5 Exemplos de reversão de funções. No esquema I temos a proposta original, no esquema II temos a melhor solução resultante da reversão de função.

#### . Estética do Produto

Uma regra básica para projeto da forma, embora não aceita por todos, é a regra de SULIVAN - a forma segue a função - DIMAROGONAS (1989). A primeira impressão que uma máquina ou produto deve causar no observador deve estar relacionada com a função da máquina. Para toda a máquina, a estética é sempre uma vantagem competitiva. Cabe fazer uma distinção entre beleza e estilo. Estilo pode ser genericamente definido como a aparência aceita em certo tempo. Um carro com a traseira cupê poderia parecer feio 50 anos atrás, bem como uma máquina de escrever não se harmonizaria em um escritório moderno. Estar fora de estilo não quer dizer que sejam feios.

#### 4.7 - Requisitos de Projeto - Tradicionais e Novos

Os requisitos de projeto vão se tornando mais complexos e conflitantes à medida em que a sociedade vai incorporando novos valores.

Classificamos a seguir os requisitos, adaptados de JUVINALL; MARSHEK (1991).

## A. Considerações Tradicionais

### 1- Para os componentes ou conjuntos:

- a. Resistência
- b. Deslocamentos
- c. Peso
- d. Tamanho e Forma

### 2- Para as superfícies dos componentes:

- a. Desgaste
- b. Lubrificação
- c. Corrosão
- d. Forças de atrito
- e. Calor gerado por atrito

### 3- Custo:

- a. Custo de produção
- b. Custo de utilização
- c. Custo de reposição

## B. Considerações Modernas

### 1- Segurança:

- a. Para o produtor
- b. Para o usuário
- c. Para terceiros
- d. Em serviço/manutenção

### 2- Ecologia:

- a. Não poluição da terra, água e ar
- b. Conservação de energia
- c. Material reciclável

### 3- Qualidade de vida:

- a. Satisfação do cliente

## C. Considerações Mistas

### 1- Confiabilidade e manutenção

### 2- Estética

### 3- Atualização/modernidade

### 4- Qualidade

Para conceder o prêmio de "Excellence for Design" a Associação de Desenhistas Industriais dos Estados Unidos se baseia em critérios que dão uma dimensão exata dos requisitos da atualidade. Os critérios a seguir foram publicados por BRAHAM (1992).

- . Inovação em projeto.
- . Uso apropriado dos materiais e processos de produção eficientes em custo.
- . Benefício para o usuário final, incluindo desempenho, conforto, segurança e facilidade de uso.
- . Benefícios para o fabricante, incluindo aumento de vendas e penetração de mercado.
- . Aparência.
- . Impacto social positivo, preocupação com aspectos ecológicos e projeto universal.

## 5. FERRAMENTAS DE ENGENHARIA

Nosso propósito aqui é apresentar algumas técnicas já conhecidas, que podem ser aplicadas com vantagem na engenharia de projeto. Não temos a intenção de aprofundar a análise, não é escopo deste trabalho, mas destacar os pontos fundamentais que levam a sua aplicação no Projeto Total.

A técnica de Engenharia e Análise de Valor (EV/AV) precisa ser resgatada devido à sua importância. Essa técnica é a base do Desdobramento da Função Qualidade (QFD) usada no Japão, seguindo o ciclo: EUA inventa, Japão usa e aperfeiçoa, EUA redescobre.

Nos aprofundamos um pouco mais na seção Controle de Qualidade analisando as conceituações existentes onde procuramos dar alguma contribuição original que auxilie no conceito de Produto Total e Projeto Total.

A utilização dessas ferramentas independe do porte da empresa, depende muito mais de uma mudança de atitude para se adequar à filosofia de foco no cliente. Mesmo CAD/CAE/CAM, com o advento dos microcomputadores e variedade dos softwares disponíveis, deixou de ser ferramenta só acessível para grandes empresas. CAD/CAE/CAM foi aqui incluído porque sua existência acelera a integração entre projeto e manufatura; desde que exista a disposição das pessoas para isso.

### 5.1 - Controle de Qualidade

#### 5.1.1 - Conceito de Qualidade

Antes de analisarmos o controle de qualidade vamos rapidamente falar de qualidade. Qualidade é hoje uma palavra chave muito difundida nas empresas: fácil de falar e difícil de fazer. Ao mesmo tempo existe pouco entendimento do que vem

a ser qualidade.

O conceito de qualidade apresentado pelas principais autoridades da área são os seguintes: JURAN;GRYNA(1991) associam qualidade à idéia de adequação ao uso, ou seja, às necessidades do usuário. A adequação ao uso é determinada por aquelas características do produto que o usuário reconhece como benéficas para ele.

FEIGENBAUM (1991), que na década de 50 cunhou o termo Qualidade Total, define qualidade como o conjunto de características, tanto de marketing, engenharia, manufatura, suporte técnico com as quais o produto durante o seu uso deve atender as expectativas dos clientes.

CROSBY (1988) criou o conceito de "Zero Defeitos" e conceituou qualidade como conformidade com as especificações.

DEMING (1990) associa qualidade a impressão do cliente, portanto não é estática. Para DEMING, a dificuldade em se definir qualidade está na conversão das necessidades futuras do usuário em características mensuráveis, de forma que o produto possa ser projetado e modificado para dar satisfação por um preço que o usuário pague. Portanto, se depreende que para DEMING o produto de qualidade atende e supera as expectativas do cliente ao longo do tempo, a um preço que ele acha justo pagar.

ISHIKAWA (1990) não define qualidade diretamente, porém focaliza o processo e assim conceitua controle de qualidade como sendo desenvolver, projetar, produzir, comercializar produtos com assistência técnica, com ótima relação custo-benefício e utilidade que os clientes vão comprar com satisfação.

Os demais autores basicamente repetem esses conceitos com poucas variações que em geral poderiam ser resumidas em: a qualidade de um produto é o grau com que o mesmo satisfaz as exigências do consumidor a um certo custo.

Uma conceituação revolucionária com uma aplicação muito

grande em engenharia de projeto foi proposta pelo professor TAGUCHI (1986), para quem a qualidade consiste em minimizar as perdas causadas pelo produto não apenas ao cliente, mas à sociedade, a longo prazo, a partir da entrega do produto. Aqui então é introduzido o conceito de moral e ética empresarial na qualidade.

Na tentativa de juntar todos esses conceitos propomos a seguinte conceituação, voltada para o produto:

- A qualidade é a capacidade de satisfazer e superar as expectativas do cliente, na hora da compra, durante a utilização e descarte, ao melhor custo possível, com mínima perda para o cliente e sociedade, e melhor que os concorrentes.

#### 5.1.2 - As Dimensões da Qualidade

GARVIN (1992) procurou sistematizar os conceitos de qualidade e identifica cinco enfoques para definir qualidade:

1. enfoque transcendental: excelência nata;
  2. enfoque baseado no produto: variável mensurável;
  3. enfoque baseado no usuário: percepção do cliente;
  4. enfoque baseado na fabricação: conformidade com as especificações;
  5. enfoque baseado no valor: desempenho a preço aceitável;
- aos quais adicionaríamos o enfoque baseado em perda: menor perda para o cliente e sociedade.

A coexistência desses enfoques criou correntes de pensamento e explica os conflitos existentes entre as diversas áreas da empresa: Marketing, Produção, Engenharia, Finanças, etc. A par do potencial conflito, é útil cultivar tais perspectivas diferentes porque são essenciais para a introdução bem sucedida de produtos de alta qualidade.

GARVIN (1992) identifica ainda oito dimensões com vista a identificar seus elementos básicos:

1. Desempenho. Refere-se às características operacionais básicas de um produto.
2. Características/conteúdo. São os adicionais dos produtos, aqueles itens secundários que suplementam o funcionamento básico do produto.
3. Confiabilidade. Reflete a probabilidade de mau funcionamento de um produto ou de falha num determinado período.
4. Conformidade. O grau em que o projeto e as características operacionais de um produto estão de acordo com padrões pré-estabelecidos.
5. Durabilidade. Uma medida da vida útil do produto enquanto ele mantiver suas características funcionais.
6. Assistência técnica. Relaciona-se ao atendimento. A rapidez, cortesia, competência e facilidade de reparo.
7. Estética. Uma dimensão subjetiva. Relaciona-se com a aparência do produto, o que se sente com ele, qual seu som, cheiro, etc. Julgamento pessoal e reflexo das preferências individuais.
8. Qualidade percebida. Uma dimensão subjetiva, resultado da falta de informações completas sobre um produto ou os atributos de serviço que leva os consumidores a fazer comparações entre marcas e daí inferir sobre qualidade. Reputação é um dos principais fatores que contribuem para a qualidade percebida.

A essas dimensões SCHONBERGER (1992) acrescenta mais quatro:

9. Resposta ou atendimento rápido. Trata-se do atendimento rápido. Em geral se mede em lapsos de tempo ou atrasos.
10. Experiência em mudança rápida. Associada a flexibilidade da produção. Por exemplo, mudança do tamanho das latas numa fábrica, mudança de modelos numa fábrica de automóveis.
11. Humanidade. Fornecer bens ou serviços com a dose certa de amabilidade, atenção, humildade, honestidade.

12. Valor. Refere-se à quantidade de qualquer uma das dimensões anteriores da qualidade que obtemos por um determinado custo.

Essas dimensões não são apenas variações das oito propostas por GARVIN (1992). Elas são básicas por si próprias. Por exemplo, atendimento rápido e mudanças rápidas (ítems 9 e 10) são tão importantes para o cliente que não devem ser incluídas em desempenho (ítem 2).

A dimensão humanidade (ítem 11) é uma adição necessária aos conceitos de qualidade que no passado se inclinaram para o mecanicismo.

A dimensão valor (ítem 12) está sempre na mente do cliente final, que paga.

Propomos ainda as dimensões resultantes do enfoque de TAGUCHI:

13. Uniformidade. Reduzir ao mínimo as diferenças entre produtos que deveriam ser iguais. Ou seja, evitar a variedade excessiva dentro da conformidade.

14. Sociabilidade. O produto deve ser socialmente correto. aqui se incluem aspectos de legalidade, poluição, etc.

15. Perda. O composto final do produto recebido pelo cliente deve provocar a mínima perda para o cliente e para a Sociedade, da sua compra até ao seu descarte.

É interessante notar como essas dimensões seriam traduzidas para um automóvel, como mostrado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 A INTERPRETAÇÃO DAS 15 DIMENSÕES DA QUALIDADE NO CASO DE UM AUTOMÓVEL,

Dimensão	Automóvel
1. Desempenho	.Aceleração, dirigibilidade, velocidade regular, conforto, etc.
2. Características	.Levantador automático dos vidros, controle automático do ar-condicionado.
3. Confiabilidade	.Dar partida de manhã e pegar de primeira. resposta nas ultrapassagens.
4. Conformidade	.Atende os padrões industriais e as especificações. Faz aquilo que se propôs a fazer.
5. Durabilidade	.Vida útil do veículo, incluindo os reparos.
6. Assistência técnica	.Facilidade de reparo. Fazer certo na primeira vez, atendimento e competência da revendedora.
7. Estética	.Acabamento externo, perfil aerodinâmico, linhas modernas.
8. Qualidade percebida	.Propaganda, participação de mercado, bons resultados em testes de revistas especializadas.
9. Resposta e atendimento rápido	.Ligação gratuita sempre possível. Ação imediata da empresa ou do revendedor.
10. Experiência em mudança rápida	.Lançamento de várias versões, séries especiais.
11. Humanidade	.Seguimento ao cliente. Recepcionistas bem treinados. Tratamento personalizado.
12. Valor	.Preço competitivo ou formas de pagamento que leva o cliente a comprar.
13. Uniformidade	.Carros iguais. Evita o cliente a interpretar defeitos quando comparado com outro veículo igual.
14. Sociabilidade	.Veículo certificado pelos órgãos competentes. Atende ou excede as normas legais. Veículo seguro.
15. Perda	Veículo não poluente. Fácil de consertar. peças padronizadas, disponíveis, fáceis de encontrar.

### 5.1.3 - As Sete Ferramentas do Controle da Qualidade

O pensamento estatístico e o uso de ferramentas estatísticas é básico no controle de qualidade e análise de problemas. Reproduzimos a seguir em tradução livre a opinião de ISHIKAWA (1985) sobre elas.

" (...) Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, Estratificação, Folha de Verificação, Histograma, Diagrama de Dispersão e Gráficos de Controle, apesar de alguns casos não serem exatamente um instrumento estatístico, nós os classificamos como métodos estatísticos elementares.

Essas técnicas, usualmente chamadas de Sete Ferramentas de Controle de Qualidade, devem ser assimiladas por todos: presidente, diretores, gerentes, chefes, supervisores e operários, ou seja, por todos os integrantes da organização. O que significa que o seu uso não se restringe à área de produção, exigindo, portanto, a educação e o treinamento do pessoal das áreas de planejamento, engenharia, vendas, compras, assistência técnica, etc.

Segundo minha experiência, cerca de 95% dos problemas existentes numa empresa poderão ser resolvidos com o auxílio dessas Sete Ferramentas".

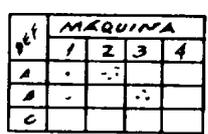
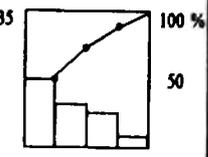
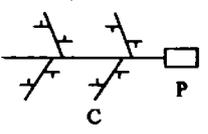
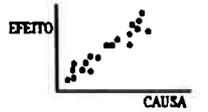
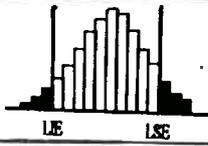
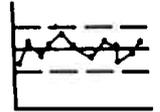
Essas ferramentas, de fácil aplicação, auxiliam o desenvolvimento do produto, da análise da pesquisa de mercado até a sua comercialização. O método de solução de problemas (MSP) aplica o ciclo Deming (P-D-C-A) e é composto por oito processos:

1. Identificação do Problema. Definir claramente o problema e reconhecer sua importância.
2. Observação. Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista.
3. Análise. Descobrir as causas fundamentais.
4. Planejamento de Ação. Fazer um plano de ação para bloquear as causas fundamentais.

5. Ação. Executar o plano de ação para bloquear as causas fundamentais.
6. Verificação. Verificar se o bloqueio foi efetivo.
7. Padronização. Prevenir contra o reaparecimento do problema.
8. Conclusão. Revisar todo o processo de solução do problema visando o trabalho futuro.

Na tabela 5.2, apresentamos as Sete Ferramentas e sua adequação a cada processo.

Tabela 5.2 AS SETE FERRAMENTAS DO CONTROLE DE QUALIDADE.

Ferramenta	Forma	O que é	Quando se Aplica -MSP Processos:
Estratificação		Diversas maneiras de se agrupar os mesmos dados, para possibilitar uma melhor avaliação da situação.	1 2
Folha de Verificação		Planilha para facilitar a coleta de dados.	1 2 3 5 6
Gráfico de Pareto		Diagrama de barras que ordena as ocorrências, da maior para a menor, para hierarquizar o ataque aos problemas.	1 2 6
Diagrama de Causa-e-efeito		Diagrama que expressa a série de causas de um efeito (problema)	3 4
Diagrama de Correlação		Gráfico que representa a relação entre duas variáveis.	3
Histograma		Diagrama de barras que representa a distribuição da frequência de uma população.	1 2 3
Carta de Controle e Gráficos.		Gráficos com limites de controle que permitem o monitoramento dos processos.	1 2 6

## 5.2 - Métodos Taguchi

Os métodos Taguchi tratam de controle de qualidade na linha e fora da linha de produção.

Foram criados pelo engenheiro Genichi Taguchi e começaram a ser divulgados principalmente pela indústria automobilística no início dos anos 80. No Brasil a aplicação do método é ainda incipiente.

O núcleo fundamental dos métodos Taguchi para o engenheiro da qualidade é o conceito de perda. Quando pensamos em perda para a sociedade, imeditamente pensamos em poluição, ruído excessivo nos automóveis, vazamentos químicos, etc. O Dr. Taguchi vê a perda para a sociedade num conceito mais amplo. Ele associa essa perda com os custos incorridos na produção, e também os custos sofridos pelos consumidores no decorrer da vida útil do produto (reparos, perda de negócios, lucros cessantes, etc.). Minimizar a perda para a sociedade é a estratégia que irá incentivar produtos uniformes e reduzirá custos na hora de produção e da utilização.

Os métodos Taguchi têm dois conceitos fundamentais:

1. Perdas de qualidade devem ser definidas como desvio dos valores objetivos, e não conformidade com especificações; assim são medidas em um sistema mais amplo de custos e não por custos locais nos pontos de detecção de defeitos.
2. Obter um sistema com altos níveis de qualidade requer que a qualidade seja projetada, em outras palavras desde o projeto.

Pelos resultados práticos alcançados, os métodos Taguchi têm encontrado grande aceitação entre os engenheiros, porém algumas críticas entre os estatísticos-matemáticos conforme GUNTER (1987), RYAN (1988), TRIBUS; SZONYI (1989); HARE (1990) embora estes reconheçam sua contribuição com os conceitos de função perda, projeto robusto. Nós acre-

ditamos que os métodos Taguchi deverão ter o mesmo desenvolvimento do método dos elementos finitos que começou com engenheiros, depois os matemáticos fundamentaram, o que permitiu sua generalização e abrangência.

### 5.2.1 - Função Perda de Taguchi

Taguchi (1986) propôs que a perda fosse representada por uma função quadrática, ou seja, a perda na qual se incorre quando um parâmetro se desvia do valor objetivo é proporcional ao quadrado da distância que os separa, conforme representado na Figura 5.1. Algebricamente pode ser representada pela equação:

$$P(x) = k(x-m)^2$$

onde  $p(x)$  é a perda (\$);  $k$  é o coeficiente de custo;  $m$  é o valor nominal e  $x$  é o desvio do valor nominal.

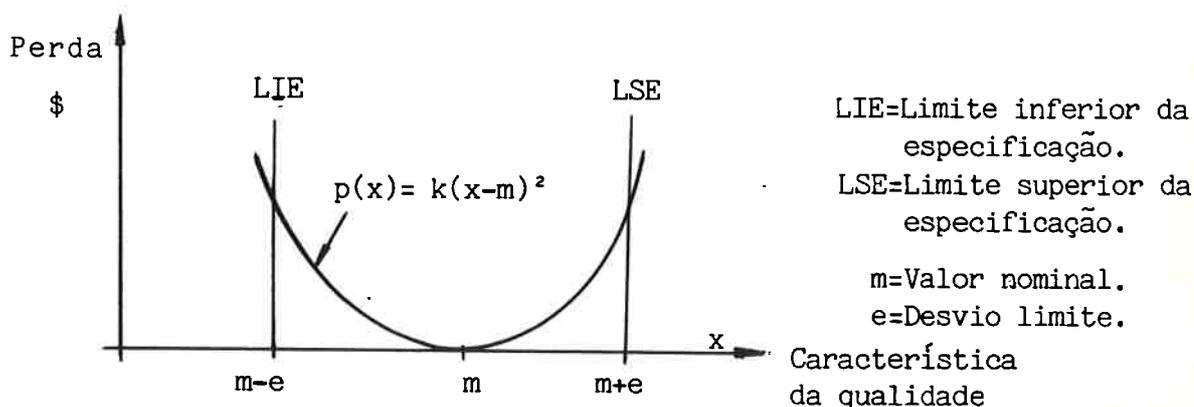


Fig. 5.1 Representação gráfica da função perda de Taguchi.

A função perda de Taguchi é uma função contínua. Na representação quadrática temos as seguintes características:

$p(x)$  é mínimo quando  $x=m$

$p(x)$  cresce à medida que  $x$  se desvia de  $m$

$p(x)$  cresce lentamente nas vizinhanças de  $m$ , começa a crescer mais rápido à medida que se distancia de  $m$

$p(x)$  é expressa em unidades monetárias.

Taguchi desenvolveu a função perda para cada uma das três características continuamente mensuráveis que estão representadas na Tabela 5.3.

A dedução das equações bem como a sua aplicação para mais de uma peça estão fora do escopo deste trabalho podendo ser encontrada em EALEY (1988); ROSS (1991).

Tabela 5.3 FUNÇÃO PERDA PARA FUNÇÃO DE CARACTERÍSTICAS CONTINUAMENTE VARIÁVEIS.

Tipo de característica	Função	Gráfico
<p>"Nominal é melhor"</p> <p>-Característica mensurável em relação a um valor objetivo</p> <p>Ex.: dimensão, pressão, tensão</p>	$p(x) = k(x-m)^2$ $k = \frac{A}{b^2}$	<p>Um gráfico com o eixo vertical rotulado 'p' e o eixo horizontal rotulado 'x'. Uma curva parabólica abre para cima. O ponto mínimo da curva está no eixo x em um ponto rotulado 'm'. Uma linha horizontal tracejada no eixo p indica o valor '\$ A'. Uma linha vertical tracejada desce de '\$ A' no eixo p até a curva, e outra linha vertical tracejada desce de 'm' no eixo x até a curva. O espaço entre essas duas linhas verticais no eixo x é rotulado 'b'.</p>
<p>"Menor é melhor"</p> <p>-Característica medida com valor objetivo igual a zero</p> <p>Ex.: atrito, ruído, deterioração</p>	$p(x) = k \cdot x^2$ $k = \frac{A}{b^2}$	<p>Um gráfico com o eixo vertical rotulado 'p' e o eixo horizontal rotulado 'x'. Uma curva parabólica abre para cima, começando na origem (0,0). Uma linha horizontal tracejada no eixo p indica o valor '\$ A'. Uma linha vertical tracejada desce de '\$ A' no eixo p até a curva, e outra linha vertical tracejada desce de 'b' no eixo x até a curva.</p>
<p>"Maior é melhor"</p> <p>-Característica medida com valor objetivo muito grande</p> <p>ex.: limite de tensão, eficiência de combustível, vida útil.</p>	$p(x) = k \cdot \frac{1}{x^2}$ $k = A \cdot b^2$	<p>Um gráfico com o eixo vertical rotulado 'p' e o eixo horizontal rotulado 'x'. Uma curva hiperbólica decrescente. Uma linha horizontal tracejada no eixo p indica o valor '\$ A'. Uma linha vertical tracejada desce de '\$ A' no eixo p até a curva, e outra linha vertical tracejada desce de 'b' no eixo x até a curva.</p>

Fonte: EALEY (1988) p. 283.

### 5.2.2 - Estudo de Caso: Transmissão Automática

O caso real aqui apresentado mostra a necessidade da introdução dos métodos Taguchi em projeto. Este caso mostra o impacto econômico provocado pela variação excessiva num caso

de transmissão automática.

A Ford Motor Co. contratou a Mazda (Japão) como fornecedor para suas transmissões automáticas de um determinado veículo. A mesma transmissão era fabricada por um fornecedor americano nos E.U.A. Ambos os lugares estavam fazendo transmissões para a mesma série de projetos e apenas para carros americanos. A versão japonesa, como demonstraram os registros de assistência técnica, apresentaram taxa de reclamação do cliente substancialmente menor do que a versão americana. A Ford investigou o fenômeno medindo todas as peças das duas transmissões e constatou que as transmissões eram feitas com muito mais consistência que as dos americanos. Em certos componentes críticos do corpo da válvula (válvulas, diâmetros internos das válvulas e molas) que fazem com que uma transmissão mude automaticamente, a Mazda estava utilizando apenas 27% da amplitude de tolerância permitida, enquanto a fábrica americana usava 70%. Uma análise do processo mostrou que a Mazda estava utilizando uma retificadora ligeiramente mais cara e mais complexa para dar acabamento nos diâmetros externos das válvulas. À primeira vista tem-se a impressão de que suas peças são mais caras, mas lembrando-se da função perda, as peças eram globalmente mais baratas. Um menor número de devolução de transmissões para a Mazda evidenciou o fato. Utilizando-se dessa informação a fábrica americana ajustou seu processo e no primeiro trimestre de 1987, superou a fábrica japonesa.

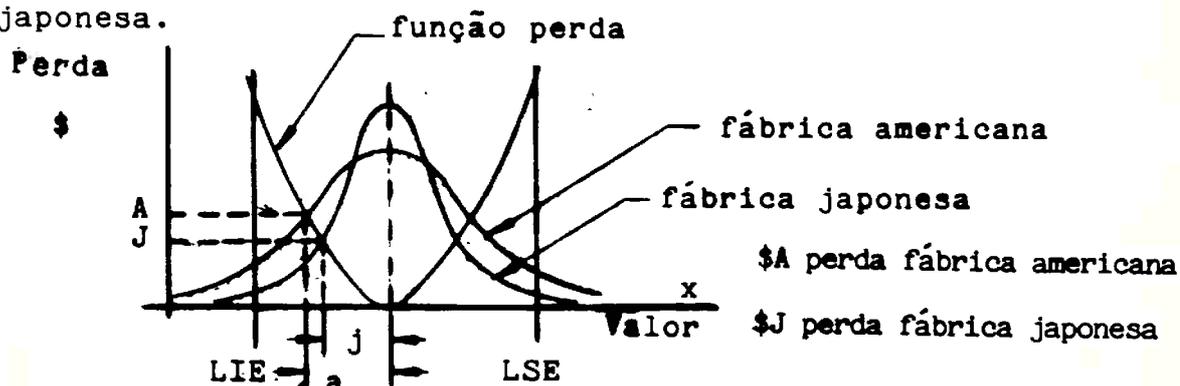


Fig. 5.2 Apresentação da variabilidade de duas fábricas e seu efeito na função perda.

### Aplicação da função perda

dados:

- a) custo ao produtor 100\$ para ajustar o corpo de uma válvula em garantia quando o consumidor reclama do ponto de mudança.
- b) O levantamento de dados indicou aos engenheiros que o consumidor reclamaria o ajuste se o ponto de mudança estivesse distante 40 rpm do valor nominal, na velocidade de saída da transmissão, na mudança de 1.<sup>a</sup> para 2.<sup>a</sup> marcha.

A função perda é:

$$\text{Perda} = k (x-m)^2$$

$$100\$ = k (40)^2 \quad k = 0,0625 \text{ \$/rpm}^2$$

Na fábrica o ajuste pode ser realizado a custo de 10\$ para ajustar a mudança e garantir a qualidade. Quais seriam os limites que definem o momento em que deve ser realizado um ajuste na fábrica?

$$\text{Perda} = k (x-m)^2$$

$$10\$ = 0,0625 (x-m)^2$$

$$(y-m)^2 = \frac{10\$}{0,0625} = 160$$

$$(y-m) = 160 = \pm 13 \text{ rpm}$$

Portanto, se o ponto de mudança da transmissão ultrapassa 13 rpm do valor nominal desejado é mais barato ajustá-lo na fábrica que pagar a garantia.

### 5.2.3 - Controle de Qualidade Fora da Linha

O Dr. G. Taguchi define a perda como provocada pela variação funcional do produto, a qual ele chama de ruído. Existem três tipos de ruído:

- a) Ruído externo: É aquele que corresponde à variação das condições ambientais tais como temperatura, pressão, umi-

dade, uso pelo cliente, etc.

- b) Ruído interno. É aquele que corresponde a deterioração dos elementos ou materiais.
- c) Ruído variacional. Este ruído é aquele que corresponde à variabilidade entre os componentes ou peças.

Portanto o ruído total é causado por uma soma de ruídos (variações):

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Ruído} & & \text{Ruído} & & \text{Ruído} & & \text{Ruído} \\ \text{Interno} & + & \text{Externo} & + & \text{Variacional} & = & \text{Total} \end{array}$$

Com o intuito de minimizar a perda causada por essas fontes de ruído são utilizadas contra-medidas que incluem contra medidas fora da linha. Para Dr. G. Taguchi as medidas fora da linha são mais importantes e compõem-se de três estágios:

- 1- Projeto do sistema
- 2- Projeto de parâmetros
- 3- Projeto de tolerância.

Projeto do sistema é o projeto em si que deve ter foco no cliente para desempenhar determinadas funções que atendam suas necessidades. Através do conhecimento científico e de engenharia deve se obter um protótipo básico o quanto antes.

Projeto de parâmetros é a determinação dos níveis ótimos para cada um dos parâmetros de projeto. Procura-se uma combinação de parâmetros que tornem o produto insensível aos ruídos atendendo os objetivos.

Projeto de tolerância é a aplicação de métodos experimentais de projeto para melhorar de maneira seletiva a qualidade dos componentes sem deixar de levar em conta os custos.

As inter-relações entre ruídos e contra-medidas estão representados na Figura 5.3.

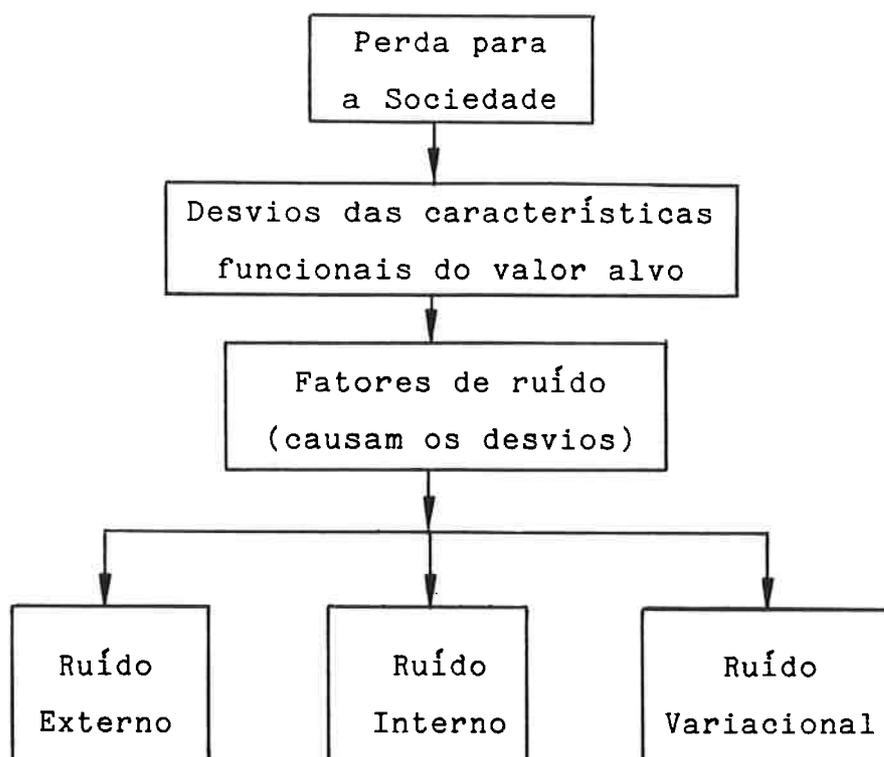


Fig. 5.3 Fatores de ruído responsáveis pelos desvios das características do seu valor objetivo.

A descrição dos métodos Taguchi que abordam o problema de ruídos e contra-medidas envolve considerável trabalho matemático e fogem do escopo do trabalho. Julgamos que o exposto até aqui proporciona uma amostra do poder dos métodos Taguchi que os leva a serem considerados uma poderosa ferramenta para engenharia de qualidade.

### 5.3 - Engenharia Simultânea

#### 5.3.1 - Conceito

Surgiu na Ford Motor Co. no projeto Taurus no início dos anos 80, embora os japoneses utilizassem, porém não com esse nome, uma vez que era a forma natural para eles de operar. O conceito essencialmente o mesmo, mas com designações diferentes, que refletem uma cultura empresarial ou maior

familiarização com certos termos levou a designar esse processo por:

- . Engenharia Concorrente: Indústria mecânica em geral.
- . Engenharia Paralela: Indústria eletrônica.
- . Engenharia Simultânea: Indústria automobilística, grandes montadoras.

Embora etimologicamente nenhum dos termos designem o processo corretamente, a designação Engenharia Simultânea passa a ter uma ligeira preferência na literatura técnica.

Engenharia Simultânea é o projeto do produto e do processo simultaneamente. Resultado direto do reconhecimento do cliente interno e eliminação de barreiras entre as áreas de projeto e manufatura com objetivo de projetar o que pode ser fabricado e fabricar como foi projetado. Na realidade trata-se de uma redescoberta, uma vez que antigamente, antes do Taylorismo, os artesões eram simultaneamente projetistas e produtores.

Os pioneiros da indústria automobilística como Henry Ford, Ransom Olds, Karl Benz ou Adam Opel não se limitavam a simplesmente projetar os produtos, eram também engenheiros que projetavam o processo e até mesmo a fábrica onde seriam construídos. Portanto volta-se aos fundamentos, não aos meios ou processos.

### 5.3.2 - Implementação

Engenharia Simultânea é na realidade uma forma de organização e gerenciamento dos recursos técnicos da empresa. Assenta-se em paternidade de projeto, equipe multifuncional, igualdade de responsabilidades entre as áreas. Depende de treinamento geral para que as pessoas entendam o novo modo de ser e treinamento específico em "Construção de Equipes e Métodos de Solução de Problemas".

Os passos para implantação são os seguintes:

- . Indicar uma pessoa para liderar a equipe. Ela será responsável pelo projeto.
- . O coordenador deve ter poder para tomar decisões sobre outras áreas que afetam o projeto.
- . Assegurar a participação de representantes de outras áreas - marketing, manufatura, finanças, vendas e distribuição, assistência técnica para serem ativos no projeto do produto e no seu desenvolvimento desde o começo.
- . As responsabilidades anteriores dos membros da equipe devem ser revistos para se adequarem à nova situação.
- . Incentivos e participação dos fornecedores desde as fases iniciais do projeto.
- . Promover treinamentos interdisciplinares: explicar aos engenheiros de projeto sobre produção e vice-versa. É necessário para facilitar a comunicação.
- . Estabelecer um cronograma razoável onde devem ser verificados os eventos principais.
- . Assegurar recursos e orçamento adequados.
- . Total abertura de todas as áreas da empresa para total cooperação com a equipe.
- . Comprometimento da alta gerência, comprovado para todos da empresa por fatos e "boatos".

#### 5.4 - Desdobramento da Função Qualidade

##### 5.4.1 - Fundamentos do QFD

O desdobramento da função qualidade, ou QFD do inglês "Quality Function Deployment" é um modo sistêmico de se traduzirem as necessidades do cliente em requisitos adequados para utilização pela empresa em cada estágio do ciclo de desenvolvimento de produto.

Considerada literalmente, a expressão Desdobramento da Função Qualidade pode ser mal entendida. QFD é uma ferramenta que auxilia na melhoria da qualidade no sentido mais amplo da palavra. É uma ferramenta de planejamento bastante poderosa, usada primeiramente pelos japoneses que inclui aspectos que se assemelham à Engenharia de Valor/Análise de Valor combinados com técnicas de marketing.

Com o QFD os objetivos genéricos no desenvolvimento do produto são subdivididos em ações específicas, via esforço global de toda uma equipe. Sem esta abordagem de equipe, o QFD perde muito de seu poder. O processo é alcançado através de uma série de matrizes e gráficos, que desdobram as necessidades do cliente e os requisitos técnicos com elas relacionados. Parte do conceito e do projeto de produto, indo até a definição de processo e da linha de produção, conforme representado na Figura 5.4.

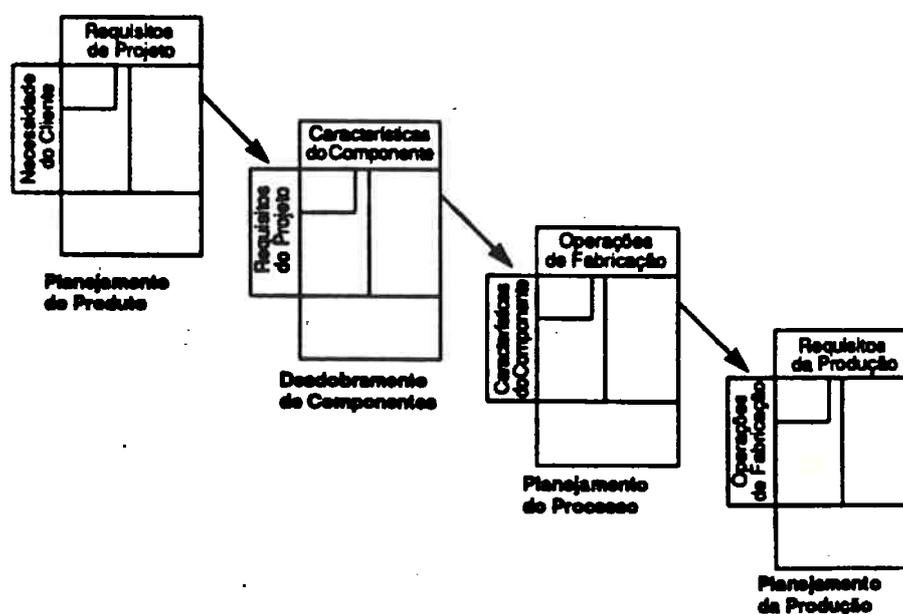


Fig. 5.4 As matrizes e gráficos do QFD desdobram as necessidades do cliente de forma sistêmica.

#### 5.4.2 - Técnica do QFD

O QFD desdobra a voz do cliente - as necessidades do cliente definidas por uma consulta detalhada através de pesquisa de mercado - durante todo o processo de desenvolvimento do produto.

O processo começa com os requisitos do cliente, que em geral são características qualitativas definidas sem muita rigidez, tais como "parece bom", "fácil de usar", "funciona bem", "sente-se bem", "é seguro", "confortável", "durável", "luxuoso" etc. Essas características importantes para o cliente não são quantificadas, o que torna difícil operacionalizá-las.

Durante o desenvolvimento do produto, as necessidades do cliente são convertidas em requisitos internos da empresa, chamados de requisitos de projeto. Tais requisitos costumam ser características globais do produto (geralmente mensuráveis), que irão satisfazer às necessidades do cliente se apropriadamente executadas.

Determinar as operações de fabricação necessárias é a próxima etapa, que muitas vezes requer importantes investimentos prévios em instalações e equipamentos. As operações de fabricação são traduzidas em requisitos da produção, que o pessoal da linha de produção usará para produzir os componentes de modo compatível e com as características exigidas. Isto inclui planos de inspeção e Controle Estatístico do Processo (CEP), programas de manutenção preventiva, instruções e treinamento para operadores, assim como dispositivos à prova de erros.

Esta abordagem hierárquica não é diferente da que foi utilizada por muitos anos pelas empresas, com vários graus de sucesso. Mas surgem problemas quando algumas dessas traduções não são feitas de modo apropriado.

Antes de mais nada, para usar o QFD é imperativo determinar quem é o cliente. Em muitos casos, há mais de um cliente; por exemplo, o usuário final, a empresa para quem o produto está sendo fabricado; ou montador que estará reunindo os componentes. Em quase todos os casos, haverá clientes internos e externos. Ambos devem ser levados em consideração; mas, se surgirem conflitos, o cliente interno deverá sempre ceder lugar ao externo, assegurando ao usuário final a obtenção do que ele deseja.

O QFD é aplicado por meio de gráficos e matrizes que, à primeira vista, podem parecer muito complexos. Quando divididos em seus elementos individuais, não é difícil entendê-los.

Em termos práticos, o QFD pode ser visto como um processo dividido em quatro partes: a primeira e a segunda fases estão voltadas para o planejamento e o projeto do produto, e as outras duas, para o planejamento do processo e as atividades da linha de produção.

No núcleo da primeira fase do QFD, está a matriz da Casa da Qualidade. É a matriz de correlações, que será descrita adiante, e parece uma construção com telhado - daí a denominação Casa da Qualidade. A Casa da Qualidade, Figura 5.5, é a matriz de planejamento do produto usada para detectar necessidades do cliente, requisitos do projeto, objetivos e avaliações da competitividade do produto.

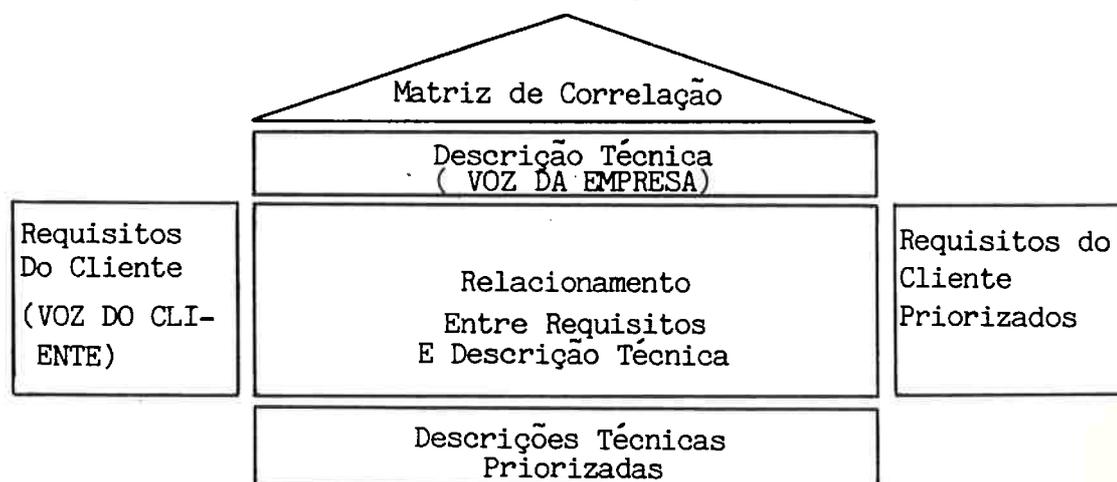


Fig. 5.5 Casa da Qualidade.

## Construindo a Casa da Qualidade.

Essa é a matriz inicial do processo, e é fundamental para todo o exercício do QFD. O resumo que segue ajudará a entender os componentes da Casa da Qualidade, que foi assim designada por HAUSER;CLAUSING (1988).

O que os clientes querem? A Casa da Qualidade começa com o cliente, cujos requisitos são chamados atributos do cliente (AC's)- e são colocados a esquerda. AC's são as frases das quais o cliente se utiliza para descrever os produtos e características de produto. Na Tabela 5.4 apresentamos um exemplo, uma aplicação típica pode chegar entre 50 a 100 AC's, no caso do Taurus foram identificados 450 atributos.

Tabela 5.4 ATRIBUTOS DO CLIENTE E UM PACOTE DE AC'S PARA A PORTA DE UM AUTOMÓVEL.

Primária	Secundária	Terciária
Boa Operação e uso	PORTA FÁCIL DE ABRIR E FECHAR	Fácil de fechar por fora Permanece aberta em ladeiras Fácil de abrir por fora Não bate-e-volta Fácil de fechar por dentro Fácil de abrir por dentro
	ISOLAMENTO	Sem infiltração de água Sem ruído da pista Sem ruído de vento Sem pingar água quando aberta Sem chacoalhar
	DESCANSA-BRAÇO	Macio, confortável Na posição certa
	REVESTIMENTO INTERNO DA PORTA	Material não desbota Atraente(não parece plástico)
Boa Aparência	LIMPEZA	Fácil de limpar Sem graxa na porta
	MONTAGEM	Folgas uniformes entre os painéis

Os AC's são geralmente reproduzidos nas próprias palavras dos clientes.

No topo da matriz temos os requisitos para projeto, ou seja, o que o fabricante faz para garantir a consistência do produto. Esses itens são medidos pelo fabricante ou especificado pelos fornecedores.

O lado direito da matriz ilustra a matriz do planejamento. É nessa matriz onde o grau de importância, a análise da competição, valores objetivos e os argumentos de venda são listados. Dessa informação, os pesos relativos para cada item são calculados, os quais servirão para auxiliar na identificação dos itens de maior potencial para sucesso no mercado.

O núcleo da matriz é onde as relações são classificadas. É o lugar onde a voz do cliente é traduzida em termos técnicos para o fabricante. Também são identificadas as interações entre as relações.

O telhado é a matriz de correlação que descreve a relação entre um AC e uma característica de engenharia.

A base da matriz contém os requisitos do fabricante priorizados. Aqui são identificados os requisitos que são mais críticos para o sucesso e de maior dificuldade técnica. Na Figura 5.6 apresentamos um exemplo de uma "Casa da Qualidade" parcialmente preenchida para uma porta de automóvel.

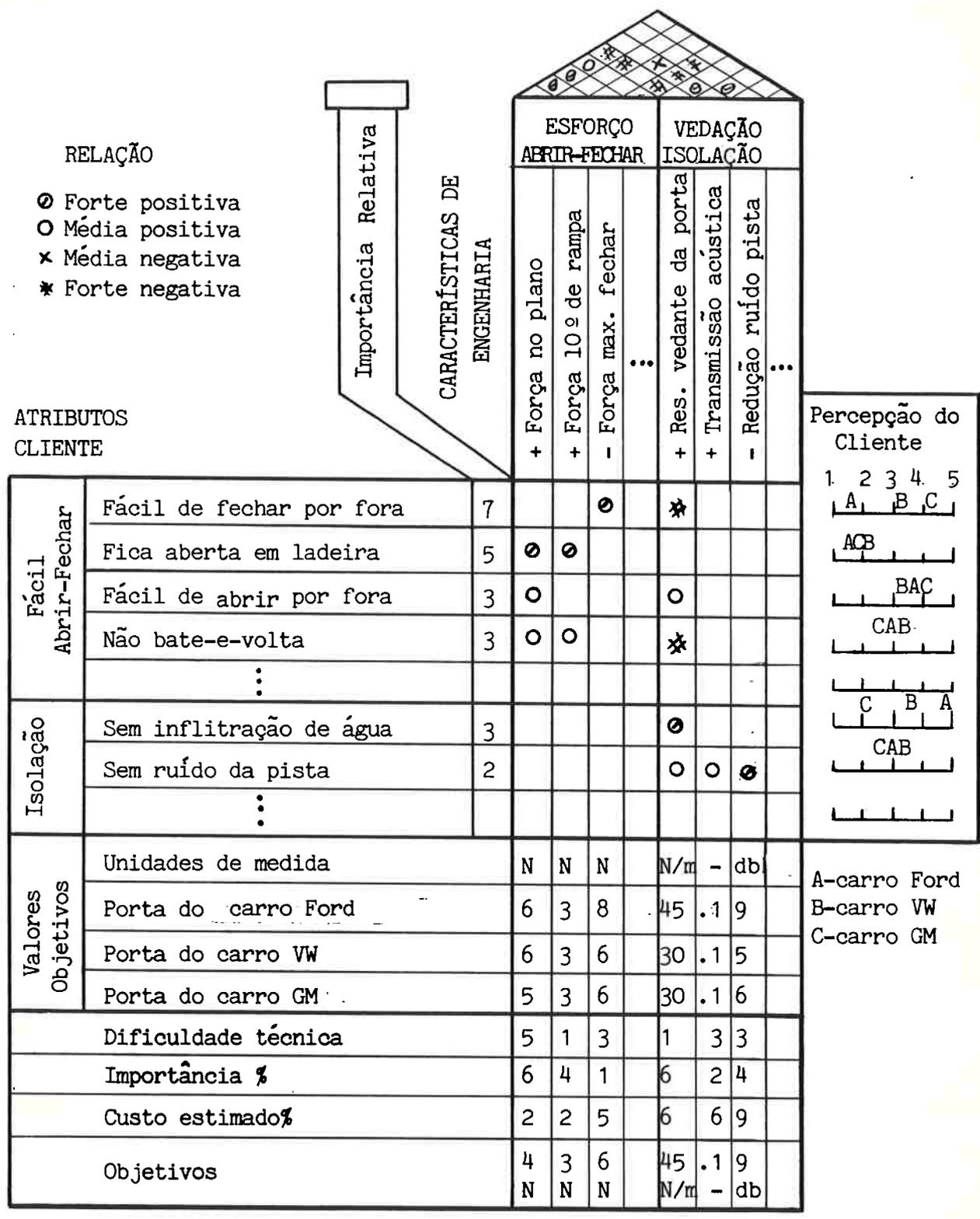


Fig. 5.6 Casa da Qualidade. Porta de um automóvel. (Valores fictícios)

Casas de Qualidade podem ser construídas de muitas formas e maneiras para satisfazer a qualquer necessidade. 0

importante é serem adequadas para a aplicação desejada.

### 5.5 - A Engenharia e Análise de Valor (EV/AV)

A EV/AV teve sua origem nos anos quarenta na General Electric Company em consequência da escassez de materiais e do esforço industrial dirigido para a Segunda Guerra. Nas décadas 70 e 80 foi ficando fora de moda por que não aplicava a tecnologia computadorizada, período no qual a indústria se volta para CAD/CAE/CAM como alternativa para aumentar a produtividade, reduzir custos, etc. Há urgente necessidade de ser resgatado devido ao seu forte impacto na qualidade do projeto e por ser o projeto responsável por 80% dos custos. COGAN (1993) em excelente artigo no jornal ESTADO DE SÃO PAULO chama a atenção para EV/AV como forma de aumentar a competitividade, uma vez que os esforços de CAD/CAE/CAM que prometiam resultar no CIM apresentaram resultados modestos na redução dos custos de produção, prazo de entrega e melhoria da qualidade.

#### 5.5.1 - Conceituação e Conteúdo

A Engenharia de Valor é um esforço organizado para atingir o valor ótimo em um produto, sistema ou serviço, fazendo com que desempenhem as funções necessárias ao menor custo. É um processo no qual todas as alternativas disponíveis são consideradas, sendo que a melhor é cuidadosamente analisada antes da escolha definitiva. A finalidade é determinar quais as alternativas irão redundar no melhor valor, isto é, qual o projeto terá melhor desempenho, e ou melhor apoio de venda, com menor custo.

A EV/AV difere dos programas de redução de custo, porque tem um alcance mais amplo. As técnicas usuais de redução de

custo são dirigidas a peças, o que significa alteração de métodos de manufatura, variações de tolerâncias, redução de materiais que, sem alterarem o projeto básico do produto, resultam em redução de custos. EV/AV é dirigida a funções (podem abranger várias peças), resultando em geral em novos projetos que desempenham a mesma função por custos menores.

Na EV/AV temos a seguinte equação para definir valor,

$$\text{"Valor"} = \frac{\text{Função}}{\text{Custo}}$$

Da análise da equação pode-se verificar que um aumento de valor não exige necessariamente uma redução de custos, também pode ser conseguido com aumento na função. Logo uma AV não implica necessariamente redução de custos, mas aumento de valor o que é mais condizente com o enfoque atual de foco no cliente.

A aplicação da EV/AV em várias empresas no Brasil encontra-se em CSILLAG (1986) que também apresenta uma extensa bibliografia sobre o assunto até 1986.

EV/AV compõe-se de várias etapas e dependem de um plano de trabalho sistematizado. Em cada uma das etapas devemos basicamente responder às seguintes perguntas:

- . O que é o produto (peça, conjunto, etc.)?
- . Quanto custa?
- . Qual o valor das funções?
- . Quais as alternativas?
- . Quanto custa cada alternativa?

Em nenhum momento o estudo deve descuidar do foco no cliente, portanto sempre considerar qualidade igual ou superior na análise das alternativas.

A EV/AV é um instrumento poderoso de auxílio no projeto que se aplica na resolução de uma série de questões que surgem durante o desenvolvimento do produto. A seguir apresenta-

mos alguns exemplos:

- . Pode o projeto ser alterado a fim de eliminar algumas peças?
- . Pode o presente projeto ser comprado a um custo baixo ou deve-se fabricá-lo internamente?
- . Podem ser utilizados componentes padronizados? É mais econômico?
- . O componente existente para melhorar a aparência é necessário?
- . Existe outro material / componente que poderia desempenhar a mesma função?
- . Pode-se alterar o projeto para simplificar determinada peça?
- . O projeto permitirá a utilização de equipamentos padrões para inspeção?
- . Pode-se utilizar de componentes disponíveis em outros equipamentos ou modelos?
- . Pode-se reduzir o número de diferentes materiais empregados?
- . Pode-se alterar o projeto para ser fabricado em equipamento automatizado?

## 5.6 - CAD/CAE/CAM

### 5.6.1 - Conceito

O conceito de projeto auxiliado por computador é amplo e compreende aplicações que vão desde mapeamento e arquitetura até projetos mecânicos de componentes e plataformas marítimas.

O uso de CAD/CAM na engenharia libera o engenheiro das tarefas cansativas tais como cálculos demorados e processos complicados de desenho. Se por um lado propicia mais rapidez nos projetos, por outro, exige do engenheiro conhecimentos mais amplos e em profundidade dos assuntos relacionados ao

projeto. Na Tabela 5.5 apresentamos algumas áreas dentro de Engenharia de Projeto e Manufatura que podem eventualmente ser influenciadas pela tecnologia CAD/CAE/CAM.

Tabela 5.5 ÁREAS ASSISTIDAS POR CAD/CAE/CAM

---

Engenharia de Projeto - Desenvolvimento de Produto

- . Preparação de propostas/cotações.
- . Desenhos conceituais - esboços.
- . Estilo - Alternativas econômicas de aparência e formato.
- . Análise Estrutural - dimensionamento.
- . Simulação.
- . Análise Cinemática.
- . Projeto de novos produtos.
- . Detalhamento de desenhos.
- . Diagramas elétricos e hidráulicos.
- . Listas de peças - saída do banco de dados.
- . Publicação técnica - manuais técnicos.

Engenharia de Manufatura - Fabricação do Produto

- . Projeto de ferramentas e dispositivos.
  - . Programação de máquinas de controle numérico.
  - . Programação de robôs.
  - . Programação de máquinas para controle de qualidade.
  - . Planejamento de processo
- 

Fonte: FERREIRA (1990) p.87.

### 5.6.2 - Benefícios na Engenharia de Projetos

Existem muitos benefícios do projeto auxiliado por computador, porém poucos podem ser facilmente mensuráveis. Alguns benefícios são intangíveis, refletidos na melhoria da qualidade de trabalho, informações precisas, melhoria do controle do projeto. Existem outros benefícios tangíveis, mas o retorno surge quase no final do processo de produção, de forma que é difícil atribuírem-se valores a eles na fase de projeto.

O aumento de produtividade em projeto auxiliado por

computador comparado aos processos convencionais depende de fatores tais como:

- Complexidade de desenho de engenharia.
- Nível de detalhes requeridos no desenho.
- Grau de repetitividade nas peças projetadas.
- Grau de simetria entre as peças.
- Abrangência da biblioteca de entidades geométricas comumente utilizadas.

À medida que cada um desses fatores for ampliado, a vantagem da produtividade de CAD tenderá a crescer.

Redução de tempo para algumas atividades.

Projeto auxiliado por computador interativamente é mais rápido que os processos manuais de projeto. Também acelera o trabalho de preparar relatórios e listas de peças que tradicionalmente são efetuadas manualmente.

Análise de Projeto.

As rotinas para análise de projeto disponíveis em sistemas CAD/CAE/CAM ajudam a melhorar a concentração do projetista, uma vez que eles interagem com seus próprios projetos em tempo real. Devido a essa capacidade de análise, os projetos são desenvolvidos mais próximos do ótimo. As alterações em projetos preliminares são geralmente mais fáceis de fazer e analisar com o sistema gráfico.

Mais alternativas de projeto podem ser exploradas e comparadas no tempo disponível do projeto. Consequentemente é razoável acreditar que um projeto melhor irá resultar com o auxílio de CAD.

Menos erros de Projeto.

O sistema CAD/CAE/CAM fornece um recurso intrínscico de evitar erros de projeto, detalhamento e documentação. Os erros que normalmente ocorrem no processo manual, durante a compilação de dados são praticamente eliminados. Uma razão para tal precisão é simplesmente que nenhuma informação precisa

ser tratada manualmente. Erros futuros são evitados porque o CAD/CAE/CAM executa tarefas cansativas tais como colocação de símbolos repetitivos rapidamente e de forma consistente. Maior precisão nos Desenhos.

Existe também um alto nível de controle dimensional, muito além da precisão alcançada manualmente. As peças são identificadas pelo mesmo nome e número em todos os desenhos. Uma modificação em um desenho propaga-se em toda a documentação e sistemas que se utilizam da peça modificada. Ganha-se também na forma de estimativas e custos de materiais.

Padronização de Projeto, Desenho e Documentação.

Um banco de dados único fornece uma opção natural para padronização de normas e procedimentos de projeto. A possibilidade de se usarem peças padronizadas, tais como parafusos, engrenagens, etc. é grandemente facilitado porque essas peças são transformadas em células e podem ser multiplicadas em diversos locais do desenho.

Desenhos mais legíveis.

O sistema CAD fornece traçados uniformes e claros. Permite também a utilização de diversas vistas do desenho ou ainda a peça em diversas posições. Os recursos de cor, sombreamento e representação de sólido contribuem para uma interpretação do desenho sem ambigüidade. O uso de recursos de animação permite uma compreensão melhor dos mecanismos.

Procedimentos para modificação de Produto.

O controle de implementação de modificações de engenharia é significativamente melhorado com o CAD. Desenhos originais são arquivados no banco de dados. Isto torna-os mais acessíveis do que documentos guardados em arquivos convencionais. Eles podem ser imediatamente verificados contra uma nova informação.

### 5.6.3 - Benefícios para Engenharia de Manufatura

Os benefícios de CAD/CAE/CAM são aplicáveis também em manufatura. O mesmo banco de dados é usado para planejamento e controle de manufatura, bem como para projeto de ferramentas e dispositivos. Os ganhos para manufatura são encontrados nas seguintes áreas:

- Projeto de ferramentas e dispositivos.
- Programação de máquinas CN.
- Planejamento do processo auxiliado por computador.
- Desenhos de montagem para produção.
- Planejamento de robótica.
- Tecnologia de grupo.
- Redução de prazos de ferramentaria.
- Teste e inspeção auxiliada por computador.

Esses benefícios derivam do banco de dados gerados pelas atividades de engenharia.

PARTE II - PRODUTO TOTAL E PROJETO TOTAL

" Não haverá nenhum progresso se vocês continuarem a fazer as coisas exatamente da mesma maneira todo o tempo"

Aviso nas fábricas japonesas aos seus engenheiros.  
Apud IMAI (1990) p. XXIV.

## 6. PRODUTO TOTAL

6.1 - Conceito de Produto Total

Total é o que constitui ou abrange um todo; completo. Propomos o enfoque Produto Total, como uma abordagem holística para produtos. Holismo, significa sintetizar as unidades em totalidades organizadas, é um movimento presente em diversas áreas do conhecimento que carregam também o adjetivo "total", quais sejam: Qualidade Total, Manutenção Total, Marketing Total, etc.

O Produto Total vai além das necessidades e expectativas do cliente e assim incorpora também aspectos técnicos de produção e projeto. Como resultado, Produto Total é orgulho para quem projeta e fabrica e satisfação para quem o utiliza.

O Produto Total tem uma característica dual: utilidade e tempo, ver na Figura 6.1. No princípio o produto é um conjunto de peças que entram em uma linha de montagem, que montadas constituem uma unidade a ser comercializada, utilizada e finalmente descartada. O produto existe nesse tempo, e em cada uma das fases os requisitos são próprios e diferenciados.

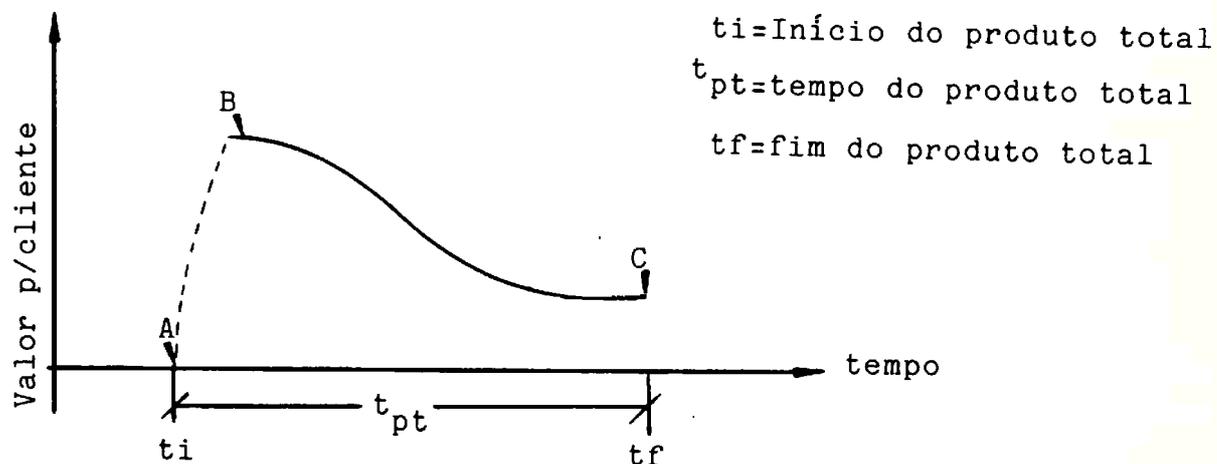


Fig. 6.1 Produto Total-Ciclo.

Na Figura 6.1, temos as seguintes fases:

- A = Conjunto de peças
- AB = Montagem e expedição
- B = Aquisição pelo cliente
- BC = Vida útil para o cliente
- C = Descarte

O Produto Total tem por objetivo atender às expectativas dos clientes externos e internos de modo completo. As dimensões do produto total que englobam as 15 dimensões da qualidade são as seguintes:

- . Qualidade (mandatária, esperada e sedutora)
- . Integridade
- . Robustez
- . Valor total
- . Fabricabilidade
- . Sociabilidade

A representação esquemática da Figura 6.2, mostra-nos essas dimensões.

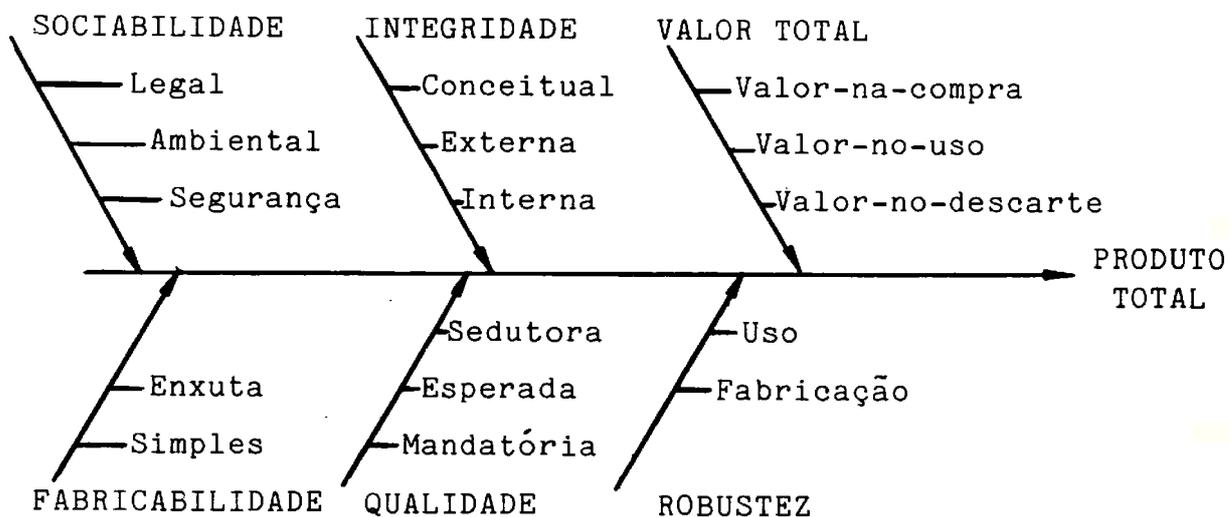


Fig. 6.2 Diagrama das dimensões do Produto Total.

## 6.2 - Qualidade do Produto Total

As necessidades do cliente e as atitudes em relação a

qualidade do produto têm se modificado de inúmeras formas conforme abaixo:

1 - Diversificação

Novas aplicações para os produtos e globalização dos mercados têm gerado uma diversificação considerável nas características de uso. Em particular, mudança de valores têm criado dificuldades em como exatamente quantificar e medir as características subjetivas da qualidade.

2 - Aumento da Sofisticação e Complexidade

Novas respostas são necessárias para atender maiores requisitos de qualidade, miniaturização de produtos, uso da microeletrônica funções inteligentes comandadas por um toque de botão, etc.

3 - Maior Durabilidade e Confiabilidade

Os produtos hoje são esperados para ser duráveis, ou seja, operar sem quebras e manter sua utilidade ao longo da sua vida útil. Resistentes à obsolescência precoce.

4 - Menor Custo Para Qualidade

Existe um aumento na demanda para a qualidade custar cada vez menos, particularmente se calculada sobre todo o ciclo de vida do produto.

5 - Novas Interpretações Para Responsabilidade Civil do Produtor

A responsabilidade civil do produtor vai além da questão do prejuízo individual para incluir o impacto adverso do produto no meio ambiente e na sociedade.

Um trabalho bastante interessante desenvolvido pelo professor Noriaki Kano da Universidade de Tóquio, segundo SOIN (1992), apresenta a qualidade em duas dimensões, conforme representado na Figura 6.3. As duas dimensões são:

"qualidades mandatórias", um conjunto de características esperadas e assumidas inerentes ao produto tais como confiabilidade, desempenho; e "qualidades sedutoras" ou inesperadas, que vão além das necessidades e desejos manifestados pelo cliente, são aqueles itens ou características que o cliente adoraria ter mas não pensaria sobre elas.

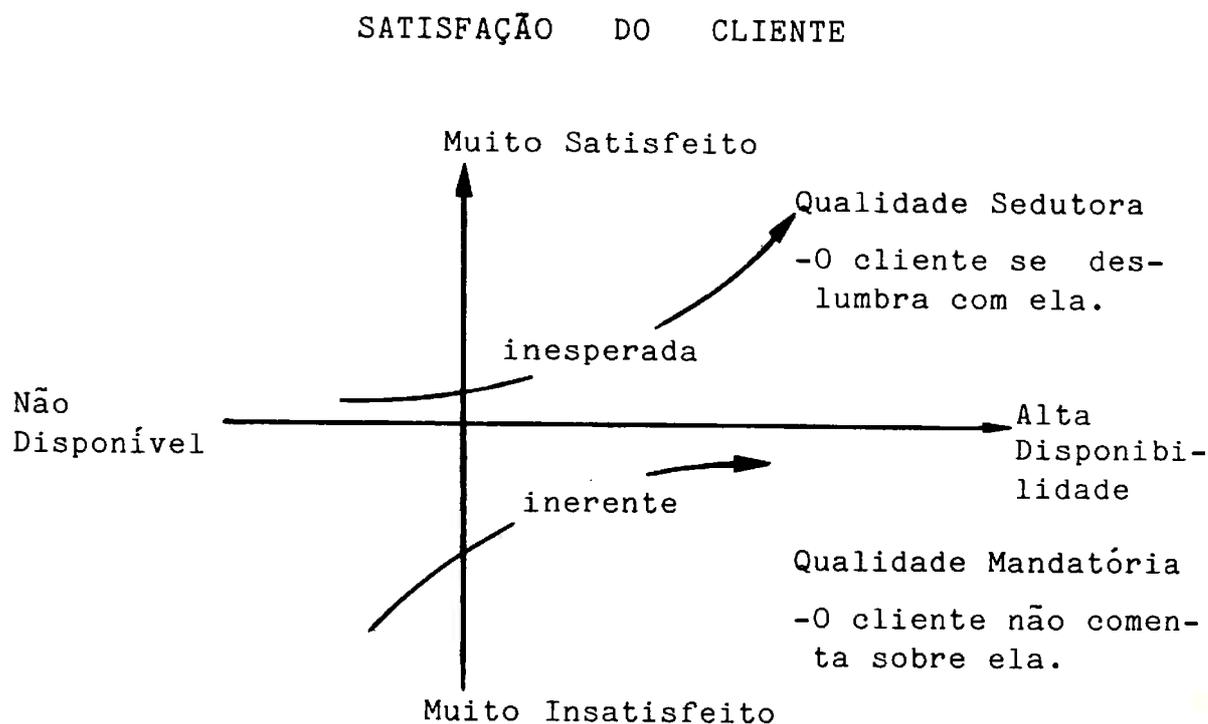


Fig. 6.3 Modelo de Kano. As duas dimensões da Qualidade.  
Adaptado de SOIN (1992) p.7.

Esse modelo quando adaptado para Produto Total indica claramente três tipos de qualidade e as relaciona com o fator tempo, ressaltando o aspecto dual utilidade-tempo do produto total, conforme se depreende da Figura 6.4.

## SATISFAÇÃO DO CLIENTE

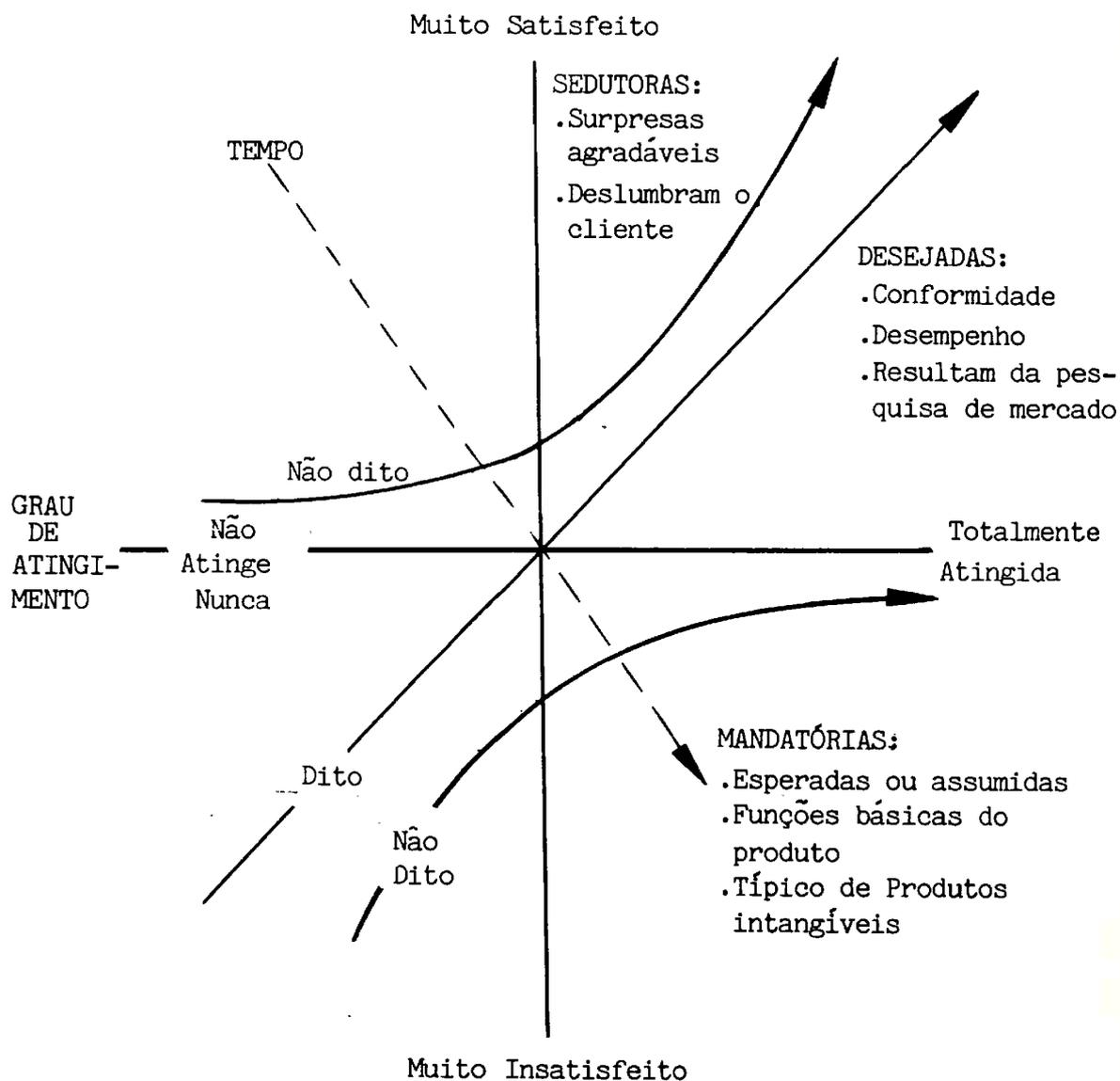


Fig. 6.4 Três tipos de qualidade. Adaptado do Modelo de Kano.

O Produto Total deve incorporar os três tipos de qualidade  
de:

1 - Qualidade Esperada (verbalizada)

O produto deve obviamente conter essas características que garantem que o produto faça aquilo que se propõe fazer e leva o cliente a comprá-lo.

Dependendo do caso, a melhoria nessa qualidade leva a altos graus de satisfação. O seu decréscimo leva a insatisfação como resultado da não conformidade do produto às especificações, o que é interpretado pelo cliente como falta de desempenho.

2 - Qualidade Mandatória (não verbalizada)

São características básicas que o cliente automaticamente espera. Elas são implícitas na função do produto ou assumidas pela experiência histórica. O cliente assume essas características como existentes. Por exemplo, os clientes esperam que a bomba de gasolina do carro funcione, ou que a geladeira gele, mas não mencionam ou discutem isso em pesquisas, a menos que tenham sido solicitados a isso. Essas características têm uma propriedade perigosa. Elas raramente aumentam a satisfação do cliente, entretanto se não estiverem presentes ou não forem atendidas, têm um efeito extremamente forte e negativo na satisfação do cliente. Sua ausência leva ao que chamamos de decepção, daí ao estado de frustração e abandono do produto ou da marca.

3 - Qualidade Sedutora (não verbalizada)

São as características inovadoras. O cliente não fala sobre elas porque não as conhece, elas nunca existem, porém constituem-se nas surpresas agradáveis que aumentam a satisfação do cliente e o prestígio do produto e da marca, reforçando a lealdade do

usuário.

Sua ausência não provoca efeito negativo no cliente. Com o tempo as características podem mudar de posição no modelo de Kano. Assim, na sequência passam de sedutoras para esperadas e finalmente para mandatórias. Por exemplo, no Brasil no início dos anos 80 o câmbio de 5 marchas era uma surpresa que deliciava o cliente; em meados dos anos 80 os clientes pediam o câmbio de 5 marchas (verbalizavam). Nos anos 90 câmbio de 5 marchas é equipamento padrão e assumido como instalado de fábrica sem necessidade de pedido específico.

### 6.3 - Integridade do Produto Total

Integridade do produto é mais amplo do que desempenho técnico ou funcional. Os consumidores de bens duráveis ou de consumo esperam que novos produtos se harmonizem com seus valores e estilos. Os consumidores industriais esperam que os produtos se adequem aos componentes existentes no sistema de trabalho ou no processo de produção. A dimensão pela qual o novo produto atinge esse equilíbrio é a medida de sua integridade. Uma das medidas é a participação de mercado que traduz a aceitação e quão bem o produto cativa e satisfaz os clientes.

A integridade do produto tem três componentes: conceito, integridade interna e integridade externa.

A integridade interna refere-se à consistência entre a função do produto e sua estrutura: as peças e componentes se ajustam perfeitamente, funcionam juntas muito bem, o layout privilegia a facilidade de uso, conservação e manutenção.

A integridade externa refere-se à consistência entre o desempenho do produto e as expectativas do cliente. A inte-

gridade externa é crítica para a competitividade do novo produto, pois se trata daquilo que o cliente recebe ou experimenta ao se utilizar do produto.

O conceito do produto normalmente é difícil de compreender por envolver aspectos subjetivos que vão compor o produto na mente do cliente e baseiam-se em quatro noções:

- . O que o produto faz?

Neste caso considera-se somente a descrição do produto em termos de sua utilidade física, seu desempenho e funções técnicas. Por exemplo: furadeira para furos até 20mm de diâmetro, de impacto.

- . O que o produto é?

Aqui considera-se a composição física do produto, sua configuração e principais componentes tecnológicos. Por exemplo: furadeira com sensor eletrônico para ajuste automático de rotação. Capa de plástico super-resistente, empunhadura ergonômica, uso profissional, com adaptadores para lixadeiras, polidoras, etc.

- . A quem o produto serve?

Neste caso descreve-se o produto a partir do seu público-alvo.

Por exemplo: furadeira profissional para uso em construção civil e industrial, não requer treinamentos específicos para sua utilização, fácil de operar tanto por técnicos quanto por leigos.

- . O que o produto significa para o cliente?

Neste caso vai responder tematicamente descrevendo a imagem, percepção, reputação do fabricante. Por exemplo: furadeira produzida pela empresa ABC, líder em tecnologia de ferramentas manuais, fácil de usar, leve, portátil e de alta produtividade.

O conceito do produto total deve incluir todas essas noções. Mas conceitos fortes incluem uma boa medida do que cha-

mamos "imaginação do mercado". Englobando não só aquilo que os clientes conhecem hoje, mas também aquilo que vão querer daqui a três ou mais anos. Novamente aqui vemos a dependência do produto total e a variável tempo. Em verdade, o conceito de produto total evita a concepção do produto e sua produção com características tecnológicas muito próximas daquelas do conhecimento do cliente, impedindo o projeto de produto que vai estar ultrapassado antes mesmo de ser fabricado.

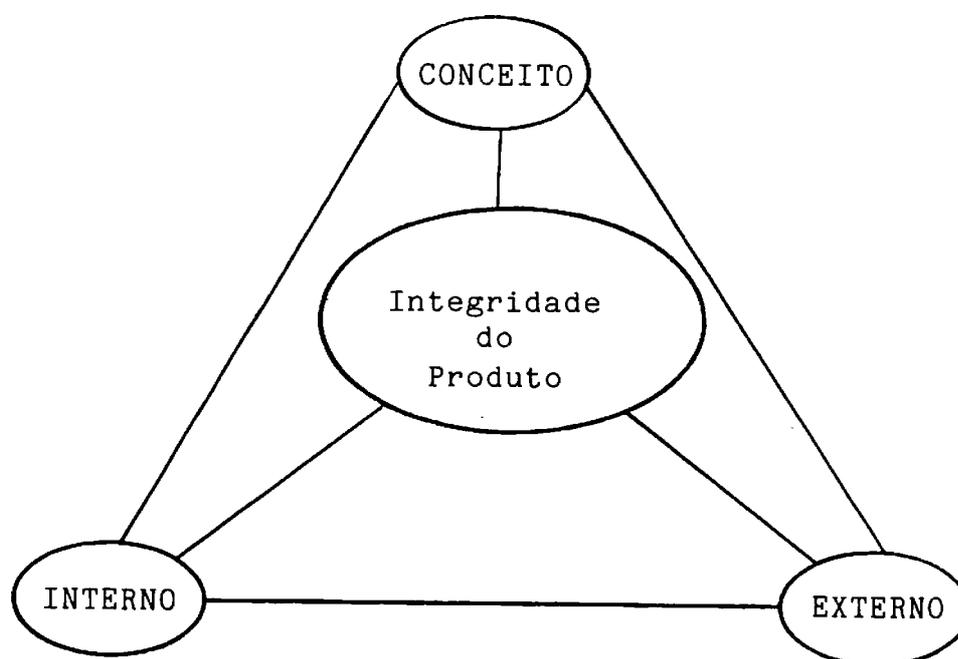


Fig. 6.5 Integridade. Característica do produto total que significa consistência entre aquilo que o cliente tem em mente, com o produto que ele adquire, sua forma e conteúdo. Uma máquina tem que parecer com aquilo que ela se propõe a fazer.

Na Figura 6.5 temos inter-relações entre os aspectos da integridade do produto. No caso de um automóvel, a integridade do produto resulta em se fazer dele uma extensão da personalidade do cliente e uma relação simbiótica perfeita homem-máquina, onde a máquina amplia as potencialidades do homem provendo-lhe total satisfação, em harmonia com seu estilo de vida e valores. Neste caso, a integridade do produto focaliza o momento de contato entre o cliente e o automóvel,

também chamado de momento da verdade do produto. Se esse contato for atritoso, difícil, então o produto falhou.

#### 6.4 - Valor Total do Produto

A satisfação do cliente começa com o produto. Quanto mais confortável e conveniente o produto, mais fácil seu uso, menos quebras ou falhas, mais feliz é o cliente.

O que constitui um bom produto? Isto é, como alguém sabe quando um produto em particular fará o cliente satisfeito?

Uma resposta pode ser, que um bom produto tem um bom projeto. Mas como podemos saber que o projeto é bom? Alguns projetos podem ter forte apelo estético, embora deficiente em termos de desempenho. Outros podem desempenhar de forma soberba, embora pareçam alguma coisa mal arranjada.

Para responder essa questão do que constitui um bom produto, ou como maximizar a satisfação do cliente, devemos reconhecer que os consumidores maximizam o Valor Total. Consciente ou subconscientemente todo comprador deseja o máximo valor em todo e qualquer lugar - na loja, no uso, e no descarte.

O valor econômico total de um produto para o cliente pode ser dividido em três partes: sua utilidade no ato da compra, ou valor-na-compra; sua utilidade durante sua vida útil, ou valor-em-uso, e sua utilidade no momento em que se desfizer dele, ou valor-em-descarte.

Tabela 6.1 FATORES AFETANDO O VALOR TOTAL

Produto	Valor na Compra	Valor em Uso	Valor em Descarte
Bens de consumo	Embalagem; Posicionamento.	Desempenho; Qualidade; Segurança; Confiabilidade.	Fácil de descartar; Sistemas ou processo para descarte; Efeitos posteriores.
Bens Duráveis	Estilo; Design; "Hi-tec"/ /"Hi-touch"; Escolha do canal de vendas.	Confiabilidade; Fácil de usar; Custo de reparos; Durabilidade global.	Preço de revenda; Substituição; Sistema de descarte.
Bens e Equipamentos Industriais	Design; Estilo; Características de funcionabilidade; "Hi-tec"/ /"Hi-touch"; Escolha do canal de vendas.	Confiabilidade; Fácil de usar; Fácil de treinar; Duração sem falhas; Manutenção Total.	Preço de revenda; Evolução/substituição; Proteção de investimentos em peças sobressalentes; Software.

.Valor-na-compra: Esse representa a resposta para a questão "o quão feliz eu penso que ficarei com esse produto ou serviço?" A resposta pode ser automática, como no caso de compras rotineiras tais como pasta-de-dentes e produtos de higiene, ou pode ser resultado de uma análise cuidadosa do produto através de tentativas, leituras de resultados de testes, amostras e assim por diante. Valor na compra é uma função do projeto externo ou estilo, a comunicação do produto tais como propaganda e literatura de vendas; o ambiente em que a compra é realizada o que envolve a apresentação do produto pelo vendedor e a aparência do pessoal de vendas.

.Valor-em-uso: "o quanto estou feliz com este produto, agora que já comprei"? A resposta determina o valor-em-uso de um dado produto ou serviço. Fatores como utilidade do produto, o equilíbrio entre fácil-de-usar e desempenho, o suporte de vendas quando apropriado decidem o valor-em-uso.

. Valor-em-descarte. Isso está relacionado à questão "o que é que eu faço com este produto que já utilizei e que não quero mais"? Isso depende novamente do projeto de produto, o grau no qual ele ainda tem valor residual e os sistemas que o fabricante estabeleceu para obter seu valor recuperado.

#### 6.5 - Sociabilidade do Produto Total

O Produto Total deve ser também socialmente correto. Neste sentido queremos dizer que o produto deve ter embutido os valores sociais no que concerne a legalidade, impacto ambiental, segurança no uso, etc.

##### Legalidade

Neste sentido o produto deve atender às normas produzidas ou por entidades governamentais ou por associações de classe.

##### Impacto Ambiental

A consciência geral de que a natureza não é inesgotável leva a considerações sobre o material utilizado no produto e sobre as emissões resultantes do processo de fabricação e de sua operação. Neste caso, o produto deve evitar contaminação como resultado de sua operação, ou deve ter modo de tratá-las quando inevitáveis. Chamamos à atenção aqui para o gradativo aumento por parte dos consumidores de valorizar os produtos ditos "verdes".

Porém, não é fácil projetar e fabricar um produto "verde", devido ao conceito de integridade do produto. O Produto Total será considerado "verde" se o seu processo de produção

também for isento de poluição.

#### Segurança

Este aspecto é também difícil de ser avaliado, principalmente para novos produtos. Na realidade é tarefa impossível ter-se um produto totalmente seguro, porque segurança tem a ver com o uso que o cliente faz do produto; por exemplo, uma simples caneta pode se tornar uma arma... Neste caso o produto total deve incorporar aspectos de segurança maiores que seus concorrentes.

#### 6.6 - Fabricabilidade do Produto Total

Dentro do conceito de produto total proposto, a facilidade e simplicidade de fabricação resulta em um processo enxuto, ou seja, mínimo de recursos (mão-de-obra) e operações para o máximo de resultado. Este aspecto do produto total basicamente atende às necessidades dos clientes internos e reduz os custos de produção com impacto positivo no preço de venda. É determinante para a competitividade do produto, pois permite prover mais valor para os clientes que os seus concorrentes.

#### 6.7 - Robustez do Produto Total

Usamos o conceito de robustez emprestado da Estatística, que significa insensibilidade a comportamento localmente deficiente dos dados, de acordo com HOAGLIN et al. (1992).

Assim, a robustez de um produto é resultado de seu projeto, que reduz a influência dos erros de produção na qualidade final do produto, neste caso entendida como conformidade com as especificações. Este item tem estreita relação com as especificações de tolerância do produto e do processo, conforme EALEY (1988) e TAGUCHI (1986) que tratam dos Métodos

Taguchi na Engenharia de Qualidade.

Nós estendemos o conceito de robustez ao uso do produto pelo cliente. Assim, o produto total deve prever que o usuário nem sempre fará uso do produto nas condições especificadas. Por exemplo, um aparelho eletrônico deve prever variações de tensão; um automóvel deve manter o desempenho, mesmo com combustível ruim e um caminhão deve suportar excessos de carga, etc. A característica de robustez tem forte impacto positivo na satisfação do cliente e na imagem de durabilidade do produto, vista pela ótica do cliente.

## 7. IMPORTÂNCIA DO PROJETO

### 7.1 - Necessidade de uma Nova Abordagem para Projeto

O maior problema que se apresenta na realização de um novo produto é o da industrialização, após a saída do projeto dos escritórios de Engenharia de Produto. As dificuldades com que então se defronta a Engenharia de Manufatura é de tal ordem que às vezes se torna necessário revisar completamente o projeto, sendo nesse caso mais compensador redesenhá-lo em sua totalidade.

Se não formos capazes de produzir algo no setor de Manufatura que se pareça com o que foi projetado na engenharia, todo o trabalho é totalmente inútil. Ninguém sabe o que estará saindo da fábrica. Nesse caso todo o esforço de marketing, avaliação, pesquisa, planejamento de qualidade, qualidade assegurada, planejamento de produto e planos plurianuais constituem pura farsa e desperdício de tempo e dinheiro.

Segundo HARTLEY, J.R. (1992), fator crucial do declínio da competitividade americana em diversos produtos, que não é frequentemente reconhecido ou citado, é a falta de qualidade em projetos de engenharia.

A engenharia de produto é o principal ingrediente técnico no processo de realização de um produto. A habilidade para desenvolver novos produtos de alta qualidade e baixo custo que atenda às necessidades dos clientes é essencial para aumentar a lucratividade e competitividade de uma empresa.

Conforme o modelo estudado no capítulo 4, o processo de projeto tradicional envolve atividades aparentemente estanques, em que uma fase é iniciada somente quando a anterior for completada. Essa forma de projetar é encontrada na maioria das empresas de produtos manufaturados. Essa prática de projeto, que funcionou bem até agora, não é capaz de responder

aos imperativos de competitividade - qualidade, custo, prazo - com a agilidade esperada pela sua própria característica:

- a) Por se desenvolver fase após fase, resulta em múltiplos e ambíguos objetivos como fruto de compromissos diferentes.
- b) O conceito inicial do produto vai enfraquecendo à medida que vai sendo gradativamente modificado para se adequar às restrições de cada fase.
- c) O tempo de desenvolvimento é longo, porque somente completada uma fase é que a outra se inicia, não se aproveitando a sinergia de áreas correlatas.
- d) Não estimula o conhecimento multidisciplinar, valoriza a superespecialização, feudos organizacionais, competição para apontar culpados em vez de melhorar produto.

Assim, o processo de projeto convencional, embora parta de um conceito de produto correto, a partir da fase inicial começa a tomar direções erradas à medida que o projeto se desenvolve. O processo de projeto convencional tem inerentes os seguintes problemas:

- . Definição insuficiente do Produto Total, conforme conceito proposto.
- . Nenhum estudo de projeto para fabricação, montagem e serviço é formalmente realizado durante o projeto.
- . Nenhuma direção clara das fases e processos de fabricação existe antes da produção.
- . Concentra-se no projeto em si, desconsiderando-se os efeitos das decisões nas atividades de produção correlatas, por exemplo: ferramental, mudança de desenho, número de peças etc.
- . Possui grande potencial para mudanças posteriores, após lançamento.

Segundo JURAN;GRYNA (1992) os produtos podem ser vistos como tradicionais e modernos, porém na prática encontram-se num espectro contínuo do tradicional ao moderno e alguns pro-

duto deslocam-se nesse espectro. Por exemplo, os primeiros automóveis, rádios, máquinas de escrever eram tradicionais na simplicidade, agora são modernos em complexidade. Essa evolução deve ser acompanhada pela evolução no processo de projeto, se não, leva ao fracasso de novos produtos. Na Tabela 7.1, fazemos uma comparação entre produtos tradicionais e modernos.

Tabela 7.1 PRODUTOS TRADICIONAIS E PRODUTOS MODERNOS

Aspectos do Produto	Tradicional	Moderno
.Simplicidade	.Simples, estático	.Complexo, dinâmico
.Precisão	.Baixa	.Alta
.Necessidade de permutabilidade	.Limitada	.Extensa
.Consumíveis ou duráveis	.Principalmente consumíveis	.Principalmente duráveis
.Ambiente em que é utilizado	.Natural	.Artificial
.Compreensão do produto por parte do usuário	.Alta	.Baixa
.Importância para a saúde, segurança e continuidade da vida humana	.Raramente importante	.Frequentemente importante
.Custo do ciclo de vida	.Semelhante ao preço de compra	.Muito maior que o preço de compra
.Vida do novo produto	.Longa, décadas e até mesmo séculos	.Curta: menos de uma década
.Base científica do projeto	.Empírica em grande parte	.Científica em grande parte
.Base da confiabilidade, manutenibilidade	.Vaga: "melhor esforço"	.Quantificada
.Volume de produção	.Geralmente baixo	.Geralmente alto
.Causa comum de falhas de campo	.Erros de fabricação	.Inconsistência do projeto

Fonte: JURAN;GRYNA (1992) v.3. p.6.

## 7.2 - As Dimensões da Competitividade e o Projeto

No ambiente competitivo do final do século 20, as inovações ocorridas na estratégia competitiva apresentam um ciclo de vida de dez a quinze anos. Cada inovação é seguida de importantes mudanças nas posições competitivas e no destino das empresas. De acordo com STALK et al. (1992) temos hoje cinco dimensões da competitividade. O atingimento de padrões elevados nessas cinco dimensões dependem basicamente da capacidade da empresa em desenvolver novos produtos, ou seja, a sua abordagem para projeto de produto.

As cinco dimensões são as seguintes:

### 1. Velocidade

A capacidade para responder rapidamente à demanda do cliente ou mercados e incorporar novas idéias e tecnologias rapidamente em seus produtos.

### 2. Consistência

A capacidade de produzir um produto que com certeza satisfaça as expectativas do cliente, no ciclo completo, do pós-venda ao descarte.

### 3. Acuidade

A habilidade para ver o ambiente competitivo claramente e assim responder às novas necessidades e desejos dos clientes, ou seja, entender a direção das mudanças.

### 4. Agilidade

A capacidade de adptar-se simultaneamente aos muitos ambientes de negócio. A isso chamaria de Engenharia Flexível, ou seja, a capacidade do pessoal de projeto de uma plataforma de produto derivar vários produtos.

### 5. Capacidade de inovar

A capacidade para gerar novas idéias e combinar os elementos existentes para criar fontes de valor.

### 7.3 - A Importância do Projeto no Sucesso de um Produto

O êxito de um projeto repousa em muitos outros fatores que não o conhecimento científico: engenhosidade, bom senso, familiarização com problemas práticos, conhecimento de normas e tabelas, apenas para citar alguns. Essas são as variáveis do lado do projetista, portanto controladas por ele. Existem as variáveis do mercado tais como: ambiente econômico, ação de competição, e as variáveis do cliente tais como: desejos, valores, credo religioso, ideologia, etc., variáveis que o projetista não controla. Em resumo temos três conjuntos de variáveis, conforme mostrado na Figura 7.1.

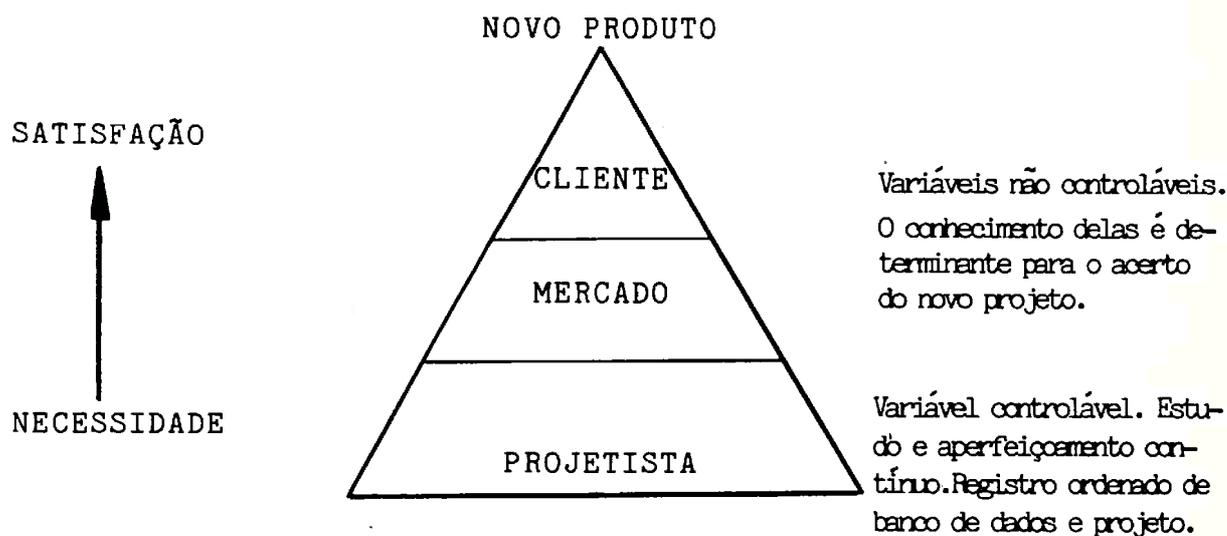


Fig. 7.1 Variáveis do Projeto de Produto

O projeto e desenvolvimento de um novo produto e sua colocação no mercado não é tarefa fácil. Desconhecemos estatísticas no Brasil do êxito/fracasso de novos projetos. Na Tabela 7.2 apresentamos parâmetros para dar a dimensão da importância da ação do projeto no sucesso de um produto com base em estudos realizados nos Estados Unidos.

Tabela 7.2 RAZÕES PARA O FRACASSO DE UM NOVO PRODUTO

AÇÕES	ÍNDICE
1. Pesquisa e desenvolvimento inadequados	32%
2. Produtos inadequados - más idéias	23%
3. Custos maiores que os previstos	14%
4. Estratégia e ação de marketing inadequada	13%
5. Cronograma/planejamento atrasados	10%
6. Ações da competição	8%

Fonte: Wharton School of Business.  
apud. CLANCY; SCHULMAN (1991) p.6

CLANCY; SCHULMAN (1991) reportam ainda um impressionante índice de fracasso de novos produtos - nos anos 60, 70 e meados de 80 o índice foi de 70% e em 1990 foi 80% nos Estados Unidos, ainda assim, as empresas continuam lançando novos produtos - 8.042 em 1986 e 13.244 em 1991.

No caso brasileiro, certamente esses índices serão diferentes, porque o mercado brasileiro não apresenta tantas indústrias no mesmo setor e tão pouco sofre o efeito intensivo de produtos importados. Porém, com a inevitável abertura de mercado e a desregulamentação de diversos setores, é provável que cheguemos a números próximos daqueles mencionados na Tabela 7.2.

CLANCY; SCHULMAN (1991) não indicam se se trata de inovações (produtos não existentes), de aperfeiçoamentos, bens duráveis, perecíveis ou ainda de serviços. No caso de máquinas ou bens duráveis é clara a influência do projeto, porque a ação do engenheiro/projetista se faz presente, tanto em novos projetos como no aperfeiçoamento daqueles existentes.

Considerando-se que o projeto de máquinas parte de uma

idéia, em seguida envolve pesquisa e desenvolvimento, custos e cronogramas, a partir da Tabela 7.2 estimamos que o projeto responde por pelo menos 80% do fracasso de um novo produto, tendo por princípio, que uma nova máquina ou outro bem durável tem seu sucesso determinado pela sua aceitação pelo cliente. Esse percentual é também estimado por D.E. PETERSEN (1991), ex-CEO da Ford Motor Company.

Não é de surpreender portanto, a notícia veiculada pelo jornal de negócios GAZETA MERCANTIL (28.Nov.92) de que "Design é que vende escovas" tratando do sucesso de alguns fabricantes como resultado de novas formas e características das escovas-de-dentes resultantes de novos projetos.

#### 7.4 - A Importância do Projeto e os Custos

Como já dissemos, na fase de projeto existem três pontos fundamentais: qualidade, custo e entrega. A maior parte dos custos de manufatura vem de reprojeção ou modificações de projeto, excluindo-se aqueles provenientes de matéria-prima. Por isso, mesmo que se duplique o custo de projeto e desenvolvimento, por exemplo de 7% para 15% do custo total para desenvolvimento de um produto, podem-se reduzir os custos de manufatura em 60%. Se duplicarmos o tempo de projeto e desenvolvimento, ainda assim é possível reduzir em 40% o tempo total até o lançamento do produto. Esses dados são bem documentados e analisados em HARTLEY, J.R. (1992) e WHEELRIGHT; CLARK (1992b).

Para SAVOIE et al. (1990) um projeto ruim contribui com até 40% de todos os problemas de qualidade; e entre 60% a 80% de todos os custos são determinados na fase de projeto. A Ford Motor Company, após um exaustivo levantamento, comprovou que embora o custo do material no produto seja dez vezes maior que o do projeto, este afeta somente 20% do custo de um automóvel. Por outro lado, a Ford descobriu que o projeto

influência 70% do custo final do automóvel, isso mostra onde devemos concentrar nossos esforços. Na Tabela 7.3, mostramos os detalhes das fontes de custo em automóvel.

Tabela 7.3 FONTES DE CUSTO EM AUTOMÓVEL

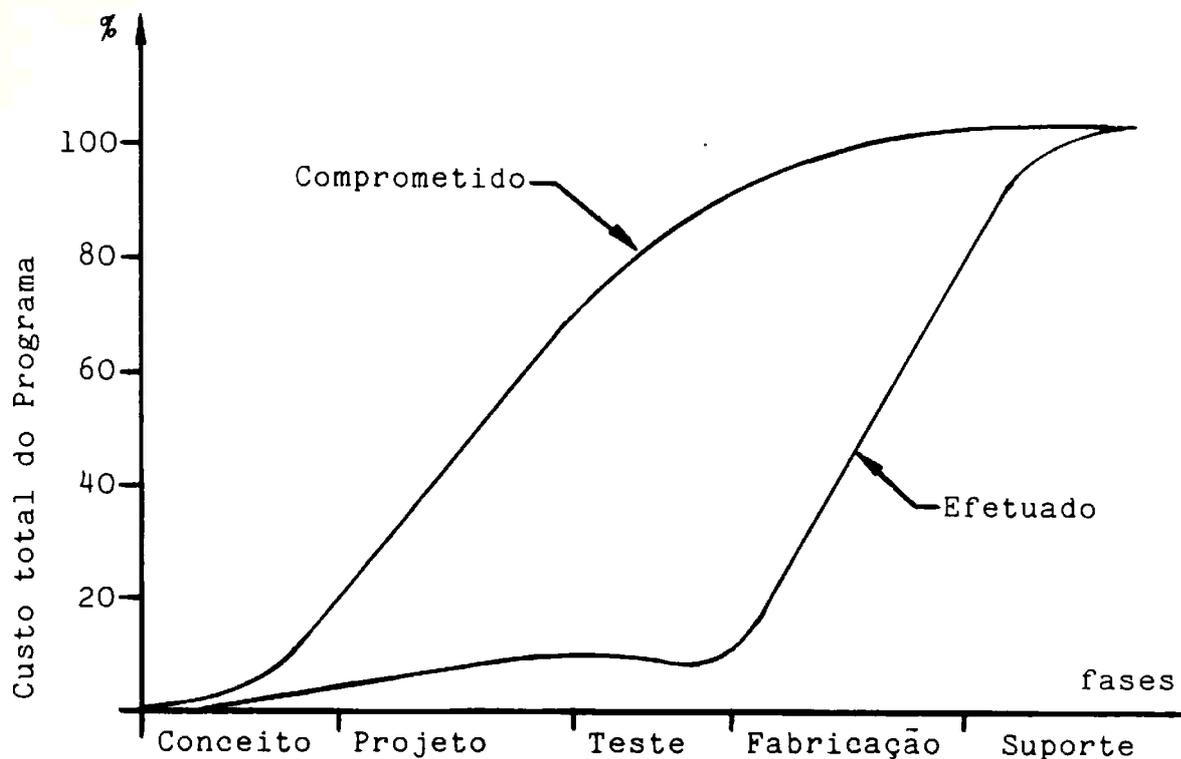
Atividade	Custo relativo no produto final	Influência sobre o custo total de produto.
	%	%
Despesas Gerais	30	5
Projeto/Desenvolvimento	5	70
Mão-de-Obra	15	5
Materiais	50	20

Fonte: Ford Motor Company - USA. in HARTLEY, J.R. (1992) p.124.

O mesmo cenário é encontrado em outras indústrias. Por exemplo, GRANT (1990) apud. HARTLEY, J.R. (1992) apresenta os resultados do estudo que relaciona as fases de um produto e sua influência no custo total, conforme vemos na Figura 7.2.

No caso da Figura 7.2 ressalta-se que o grosso do custo é comprometido no projeto porque afeta a produção do ferramental de produção, este sim, responde pela maior parte de desembolso efetuado.

A evidência de que um excesso de custo de engenharia e projeto de um novo produto está entre os menores problemas que a gerência tem que enfrentar, foi comprovado por estudo da empresa de consultoria McKinsey and Company. Esse estudo mostrou que a maior causa de redução dos lucros é o atraso na colocação de um produto no mercado, como mostra a Tabela 7.4.



Fonte: D. Grant - "Simultaneous Engineering in Aero Gas Turbine Design and Manufacture" in HARTLEY, J.R. (1992) p.125.

Fig.7.2 Custo do Programa e Fases de Desenvolvimento.

Tabela 7.4 CAUSAS DE REDUÇÃO DE LUCROS

Problemas	Efeito na redução de lucros. %
. Produto colocado no mercado com seis meses de atraso.	33
. Produto com custo final 9% acima do programado.	22
. Custo de projeto, engenharia e desenvolvimento 50% acima do programado	3,5

Fonte: McKinsey and Company in HARTLEY, J.R.(1992) p. 125.

O projeto tem impacto positivo na lucratividade da empresa quando consegue ser realizado em tempo menor. Na Figura 7.3 mostramos que um ganho de seis meses sobre os competidores em mercado acostumado com dezoito e vinte e quatro meses para um tempo de projeto, pode traduzir-se em até três vezes o lucro sobre o período de permanência do produto no mercado.

Lucro acumulado sobre o tempo de permanência do produto no mercado (relativo à média da indústria)

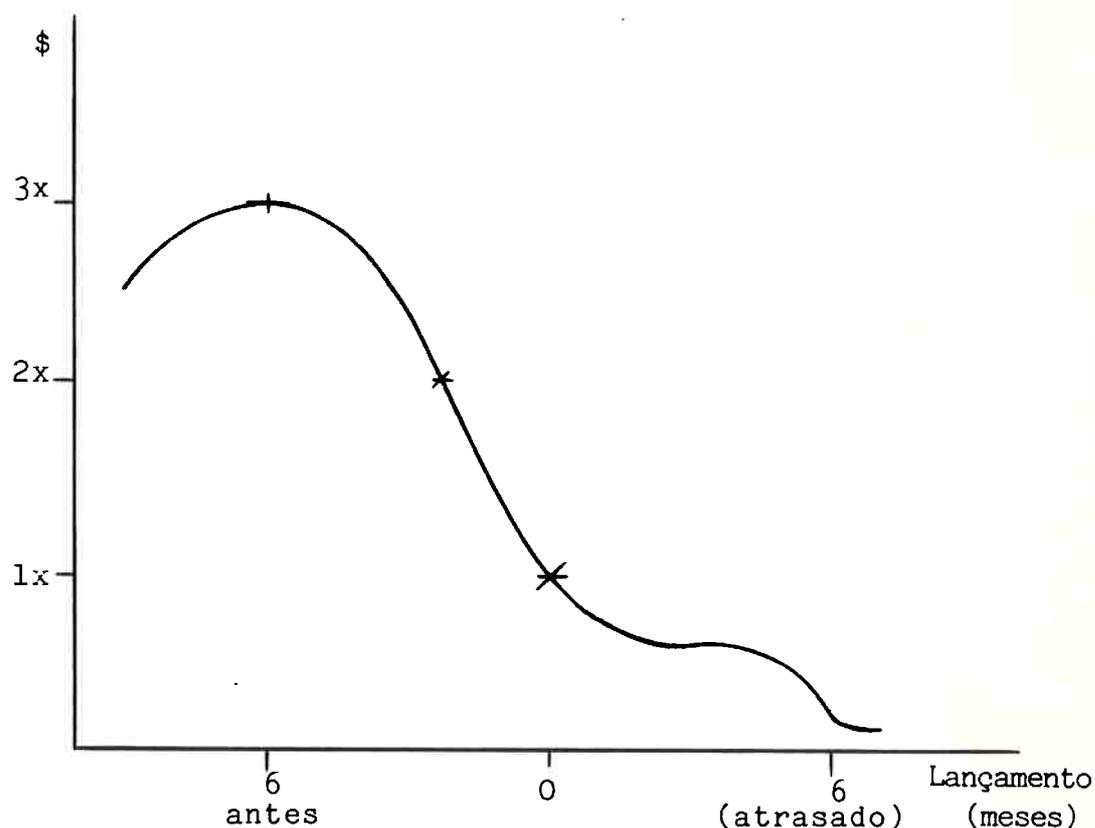


Fig. 7.3 O impacto do tempo de lançamento de um produto sobre o lucro total acumulado sobre vendas até sua retirada. WHEELRIGHT; CLARK (1992b).

Na Figura 7.3 o eixo horizontal é o tempo de lançamento em relação aos competidores. Ainda mostra que introduzindo ao mesmo tempo (0 no eixo horizontal) o produto alcança o lucro médio da indústria (1x no eixo vertical). 6 meses antes o lucro pode ser triplicado (3x no eixo vertical). 6 meses após mal alcança o ponto de equilíbrio. Note que introduzindo antes um tempo maior que seis meses está aquém do lucro ótimo.

## 8. PROJETO TOTAL

### 8.1 - Projeto Total - Conceito

A proposta de Projeto Total surge como resultado do reconhecimento da importância do projeto no sucesso de um produto e na lucratividade das empresas. Ao mesmo tempo é um processo ordenado para subordinar a técnica à voz do cliente, através da incorporação das suas necessidades e expectativas no produto, da sua concepção ao descarte. O Projeto Total surge naturalmente a partir do conceito de Produto Total, ou seja, é o processo que assegura a realização do Produto Total, já proposto no Capítulo 6.

Já explicitamos a importância do projeto no fracasso do produto, seu impacto na qualidade e nos custos do produto final. Dessa análise resulta que ou adotamos uma nova abordagem de projeto que traga embutida a preocupação com qualidade, ou então, o fracasso ou o sucesso de um produto continuará sendo casual.

Assim, o Projeto Total se insere dentro da filosofia de Controle de Qualidade Total, fornecendo o processo de projeto em linha com as ações que visam a qualidade em áreas fora da linha de produção e neste caso, restringindo-se ao ciclo de desenvolvimento de produto.

O Projeto Total compõe-se basicamente das seguintes dimensões:

- . Conceito de Produto Total.
- . Novo Processo de Projeto: Custo-objetivo.
- . Qualidade de Projeto, englobando:
  - Projeto para Manufatura.
  - Projeto para Interface Homem-Máquina.
  - Projeto para Serviço
  - Projeto para Disponibilidade

- . Controle de Qualidade na Engenharia.
  - Revisão de Projeto.
- . Análise do Ciclo de Vida.

Todas essas dimensões fazem uso em maior ou menor grau das Ferramentas da Engenharia apresentadas no Capítulo 5. A introdução do Projeto Total tem forte impacto na estrutura organizacional, obrigando a uma revisão das funções e do organograma da empresa. Mais ainda, provoca uma mudança na forma de pensar no desenvolvimento de um novo produto.

O uso das Ferramentas da Engenharia é facilitado com o uso de banco de dados compartilhado pelas tecnologias CAD/CAE/CAM. Dentre todas as ferramentas, acreditamos que Engenharia/Análise de valor é que maior impacto deve provocar no projeto com custo-objetivo.

Tabela 8.1 FASES DO PROJETO E FERRAMENTAS DE ENGENHARIA

Fases do Projeto	Ferramentas da Engenharia
. Conceito de Produto Total	. Controle de Qualidade . QFD . Engenharia/Análise de Valor
. Novo Processo de Projeto	. Engenharia/Análise de Valor . QFD . Engenharia Simultânea . Controle de Qualidade . CAD/CAE/CAM
. Qualidade de Projeto: -projeto para manufatura -projeto para interface homem-máquina -projeto para serviço -projeto para disponibilidade	. Controle de Qualidade . QFD . Engenharia Simultânea . Engenharia/Análise de Valor . CAD/CAE/CAM
. Controle de Qualidade na Engenharia -revisão de projeto	. Controle de Qualidade . QFD . Engenharia/ Análise de Valor
. Análise do Ciclo de Vida	. Engenharia/Análise de Valor . QFD

O diagrama de causa e efeito na Figura 8.1 mostra esquematicamente as dimensões que compõem o Projeto Total.

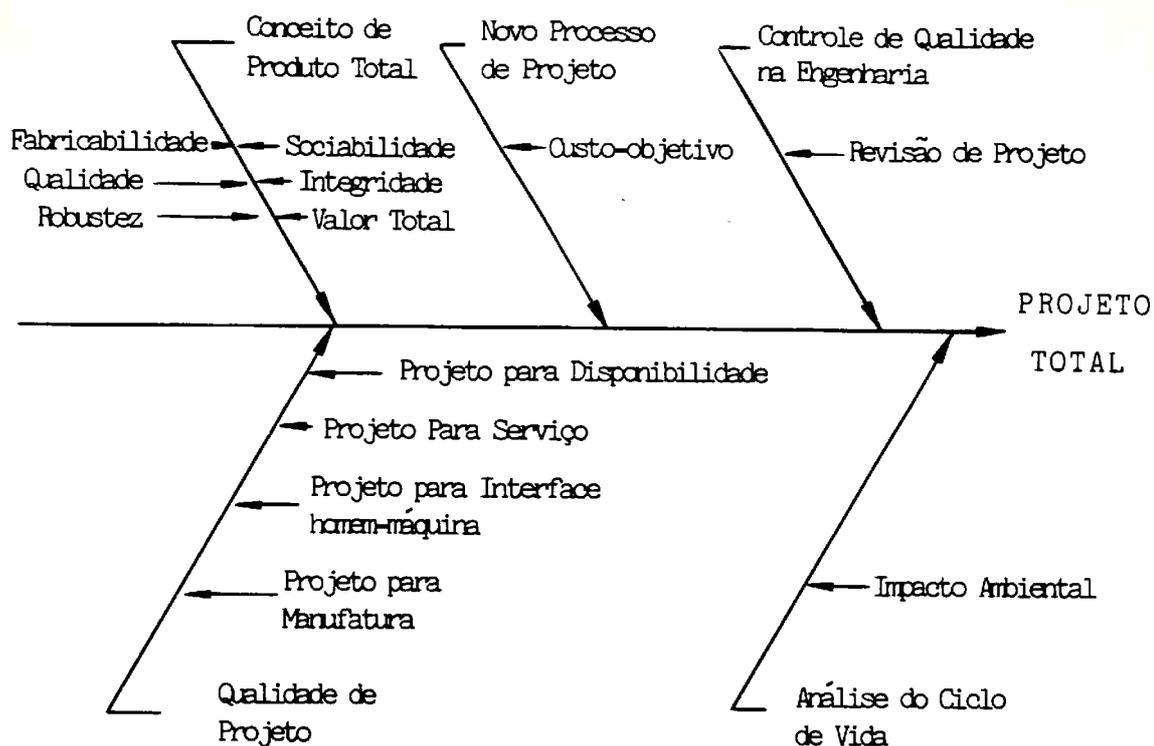


Fig. 8.1 Dimensões do Projeto Total.

O Projeto Total preconiza o envolvimento dos clientes (externos e internos) no desenvolvimento do produto, conforme representado na Figura 8.2, considerando-se que desenvolvimento do produto seja uma tríade: processo (informação) + produto (concepção) + requisitos (características).

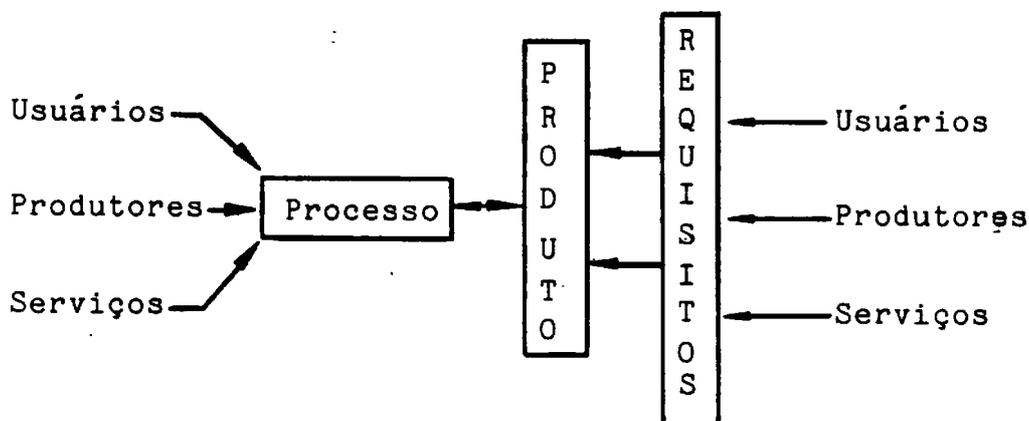


Fig. 8.2 Envio de todos os clientes (externos e internos) no desenvolvimento de produto.

Tabela 8.2 CULTURA CENTRADA NO FABRICANTE x CULTURA CENTRADA NO CLIENTE.

	Centrada no Fabricante	Centrada no Cliente
Relacionamentos	<p>.Projeto e desenvolvimento de produto é domínio exclusivo do fabricante.</p> <p>.Vendedores representam os interesses do fabricante e encoraja os usuários a aceitarem o produto como ele está produzido.</p> <p>.Serviços têm pouca ou nenhuma influência seja na modificação ou do produto ou do processo e normalmente atua de forma reativa.</p> <p>.Produtores suprem as necessidades internas da empresa.</p>	<p>.O projeto de produto é feito de forma participativa com os clientes-alvo.</p> <p>.Vendedores representam o cliente e trabalham com o produtor para continuamente atender as necessidades dos clientes.</p> <p>.Serviços solicitam sugestões dos usuários e trabalham com os vendedores e produtores para melhorar o projeto e desempenho do produto.</p> <p>.Produtores se concentram em atender às necessidades dos clientes.</p>
Valores	<p>.Capital é visto como o recurso mais importante da empresa.</p> <p>.Maior parte da energia organizacional é dedicada à manutenção, controle e solução de problemas.</p> <p>.A qualidade do serviço é baseada no desempenho técnico contra padrões industriais aceitos.</p>	<p>.Pessoas, empregados e clientes, são vistos como o recurso mais importante.</p> <p>.Ênfase é dada para apoiar a experimentação, recompensar a criatividade. Os erros fazem parte da criatividade.</p> <p>.Tanto o desempenho do produto como sua percepção pelo cliente são considerados ao se estabelecer o nível de qualidade.</p>

Fonte: LAWTON (1989) p.35.

O Projeto Total propicia o desenvolvimento de uma cultura centrada no cliente, não muito comum nas áreas técnicas. Normalmente o engenheiro (técnico) não fala a linguagem do cliente e vice-versa. Na Tabela 8.2 apresentamos os principais contrastes entre uma cultura centrada no fabricante e uma cultura centrada no cliente.

### 8.2 - Produto Total

Estabelecido na fase de concepção, no processo de projeto. É a razão de ser do Projeto Total, uma vez que métodos tradicionais de projeto não permitem de forma consistente a realização de um produto de sucesso. As razões de fracasso e sucesso de um produto serão analisadas mais adiante. A definição e conceituação do Produto Total foi proposta no Cap.6.

### 8.3 - Novo Processo de Projeto

No Capítulo 4 vimos o processo de projeto como atividade seqüencial do tipo compartimentalizada: após concluída uma fase passava-se para outra. Esse processo levava à fabricação de um produto diferente do projetado e obrigava à revisão de todos os desenhos. Na Figura 8.3 mostramos o novo processo simplificado. O novo processo subordina-se à realidade do que os clientes desejam: melhor produto pelo menor preço.

A consciência do fator preço é uma das características da década de 90 em diante. A revista FORTUNE (28 de Dezembro de 1992) apresenta as seguintes conclusões sobre o cliente americano atual:

- . querem qualidade ao menor custo.
- . para os americanos o valor mudou de "melhor da categoria" para o "melhor dentro do orçamento.

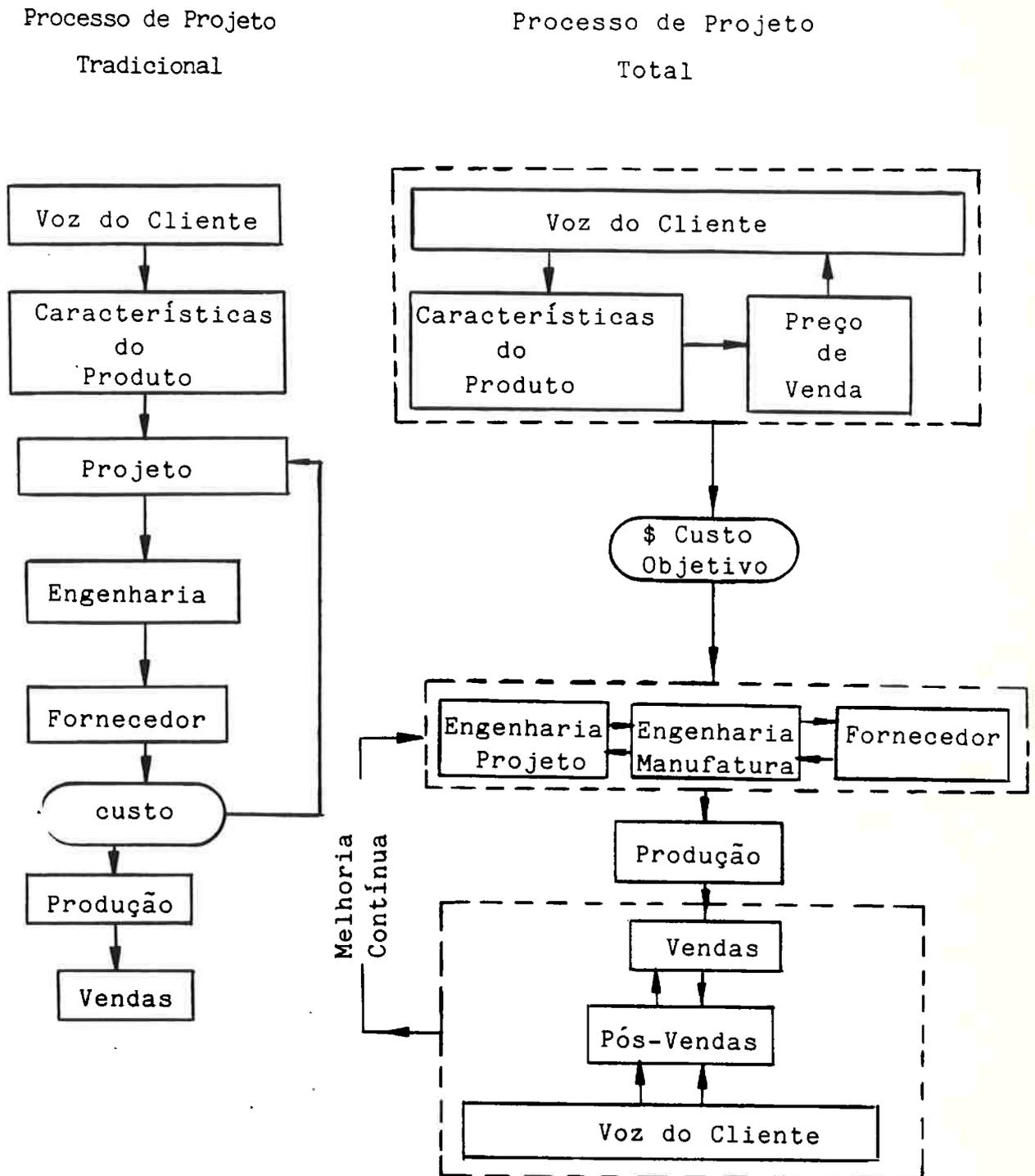


Fig. 8.3 Processo de Projeto Tradicional e Total.

- . 86% acreditam que maior preço nem sempre garante melhor qualidade.

No Brasil, os resultados de uma pesquisa sobre a importância do preço foi publicada na revista VISÃO (1992) em uma série de reportagens mostrou o seguinte:

- . 77% dos compradores consideram preço na hora de comprar eletrodomésticos.
- . 92% avaliam se o produto merece o preço a ser pago.

No projeto tradicional fixa-se somente o custo. No Projeto Total fixam-se custo e qualidade, e o desenvolvimento concentra-se no processo, variável controlada pela empresa, uma vez que preço e qualidade são determinadas pelo cliente.

O enfoque no processo para se atingir um preço objetivo contrasta com a motivação da década de 80, conforme dados mostrados na Tabela 8.3, resultado da pesquisa conduzida pela Associação Americana de Controle de Qualidade, comentado por HUTCHENS Jr. (1989).

Tabela 8.3 O QUE OS CLIENTES MAIS DESEJAM EM PRODUTOS E SERVIÇOS.

Ordem	Produto	Serviços
1.º	Desempenho	Cortesia
2.º	Durabilidade	Responsividade
3.º	Fácil de Consertar	Empatia
4.º	Disponibilidade de Serviço	Atitude
5.º	Garantia	Precisão
6.º	Fácil de Usar	Preço
7.º	Preço	Conveniência
8.º	Aparência	Sem falha
9.º	Nome da Marca	-

Fonte: ASQC/Gallup - Quality Progress, Fevereiro 1989, p.33.

A mesma pesquisa mostrava que as pessoas estavam inclinadas a pagar mais para ter aquilo que elas percebiam que tinha mais qualidade, da seguinte forma:

- a) 21% para automóvel
- b) 72% para mobiliário

Quando comparamos com os dados de 1985 mostrados na Tabela 8.4 concluímos que a importância do preço na década de 90 resulta de um processo natural de conscientização para o valor e que o "pagar mais por qualidade" está deixando de ser uma prática. Não que a qualidade deixou de ser importante, pelo contrário, tornou-se mandatória, inerente ao produto, obrigação do fabricante, não há porque se pagar mais por ela.

A nossa conclusão é que o cliente dos anos 90 busca valor e a única forma de dar valor em um produto é através do processo de projeto, que contenha de forma consistente as três qualidades: mandatória, esperada e sedutora.

Tabela 8.4 OS CLIENTES ESTÃO DISPOSTOS A PAGAR MAIS POR MELHOR QUALIDADE.

Produto	Quanto a mais %	Percentagem de consumidores que relutam em pagar mais
Carro	36	10
Fogões/Geladeiras	55	4
Calçados	135	3
TV/Som/Vídeo	66	6
Mobiliário	74	4

Fonte: ASQC/GALLUP 1985 in MÖLLER (1993) p. 175.

Principalmente no Brasil, esse novo processo de projeto é uma necessidade para atender uma nova realidade:

- i) Abertura do mercado para importados.

ii) Ausência do controle de preços.

Assim, na Figura 8.4 representamos a evolução da equação Preço, Lucro e Custo.

Equação	Causa/tempo
a) $CUSTOS + LUCRO = \underbrace{PREÇO}_{\text{Governo}}$	.Controle de preço (CIP) .Até 1990
b) $\underbrace{PREÇO - CUSTOS}_{\text{mercado}} = LUCRO$	.Abertura do mercado (1990) .Queda do poder aquisitivo .Até final década de 90
c) $\underbrace{PREÇO - LUCRO}_{\text{mercado}} = CUSTOS$	.Evolução da sociedade .Final da década em diante

Fig. 8.4 Evolução da relação Preço, Custo e Lucro. Adaptada de CAMPOS (1992) p.126.

No caso c) da Figura 8.4, temos o preço como remuneração justa do valor agregado e o lucro como remuneração justa pelo capital empregado. Segundo CAMPOS (1992) a equação  $PREÇO - LUCRO = CUSTOS$  poderá ter um significado cruel para muitas empresas e até mesmo países. Qual o significado da equação? Que o preço e o lucro são estabelecidos pelo mercado e a única variável que se controla é o custo. Portanto o custo-objetivo é o principal fator de projeto. A tendência nessa direção é tão forte que a revista EXAME (set.93), apresentou os seguintes resultados em termos de queda de preços, conforme apresentamos na Tabela 8.5.

Tabela 8.5 REDUÇÃO DE PREÇOS DE MERCADO  
BENS DURÁVEIS, BRASIL 1990/1993.

Produto	Set. 90 Preços Médios US\$	Set. 93 Preços Médios US\$	Redução %
Geladeira	1.071	620	42
Fogão 4 bocas	442	205	54
Secadora de roupa	616	510	17
Lava-louças	868	405	53
TV clorido 20" c/controlado remoto	540	418	23
Vídeo cassete com 4 cabeças	880	440	50
Bicicleta aro 26"	300	130	57
Computador 486 SX	3.000	1.800	40
Impressora XT 180	750	485	35
Compact Disc	330	180	45

Fonte: Revista EXAME, Setembro 1993 pp. 76-83.

#### 8.4 - Qualidade de Projeto

Por formação, o engenheiro de projeto trata a qualidade como um aspecto relacionado a tolerâncias e processos; ou seja, se estiver de acordo com a especificação de engenharia, então o produto tem qualidade.

O Projeto Total baseia-se no conceito de qualidade no projeto de novos produtos.

É muito difícil se estabelecer controle de qualidade fora da linha de produção. De acordo com MIZUNO (1988) o controle de qualidade em áreas fora da produção encontra dificuldades pelo seguinte:

- .Nessas áreas, poucos realmente compreendem o que controle de qualidade vem a ser. É assumido que controle de qualidade está limitado a tecnologia de produção.
- .Nessas áreas, as pessoas não concebem o quanto são importantes para garantir a qualidade do produto.

- .Não existe suficiente preocupação no desenvolvimento do trabalho em considerar o próximo no processo como cliente; e o cliente precisa ser satisfeito, mesmo com o trabalho em papel.
- .A ênfase está no desempenho individual. Não é considerado importante que o trabalho seja estruturado de modo que outra pessoa também possa fazê-lo.
- .O controle de qualidade requer forte vínculo com a realidade. As pessoas nas áreas fora da linha de produção raramente fazem um esforço para identificar os aspectos concretos do próprio trabalho.

Conforme já afirmamos a qualidade começa na prancheta do engenheiro e um mau projeto apesar de um excelente conceito, nunca terá qualidade. Portanto, ainda que a qualidade em projeto requeira estudos teóricos mais aprofundados, colocamos aqui um roteiro que atende a objetivos práticos, seguindo o conselho do professor ISHIKAWA (1985) aos engenheiros japoneses:

"Não sejam unicamente teóricos e nem exclusivamente práticos: sejam ambos".

- 1) Investigar cuidadosamente quais as características (desempenho) que devem ser garantidas. Não acreditar somente em resultados de pesquisa de mercado, pesquisa de produto ou especificações de compra. É preciso ouvir diretamente o cliente, suas próprias palavras e interpretar cuidadosamente os verdadeiros requisitos de qualidade do cliente. Em particular, investigar completamente o grau de importância de cada qualidade e o método de medida.
- 2) Decidir quanto tempo o produto deve durar.
- 3) Verificar problemas relativos a segurança, prováveis falhas de operação e os aspectos de responsabilidade legal do produto.

- 4) Decidir quais peças devem ser substituídas, quanto tempo devem durar e qual a frequência com que devem ser trocadas. Estabelecer padrões de qualidade de acordo com isso e selecionar métodos de medidas e avaliação para verificar se as peças atendem àqueles padrões: decidir sobre os métodos de inspeção e suas condições.
- 5) Preparar cartas de controle e inspeção e estabelecer as regras de como fabricar e montar o produto, implementar controle de processo. Estabelecer os padrões relevantes para matéria-prima e tolerâncias de peças, aplicando os Métodos Taguchi. Verificar as capacidades de processo dos fornecedores necessárias para isso.
- 6) Fabricar protótipos e realizar testes de operação para verificar desempenho e vida útil. Colocar todos os departamentos colaborando para avaliar qualidade. Se possível, colocar os clientes sempre fazendo esses testes operacionais.
- 7) Preparar as instruções de operação, inspeção e programação de manutenção.
- 8) Analisar informações e capacidade do processo de manufatura, inspeção, compras, vendas, departamento de serviços técnicos e reprojeter o produto, se necessário.

As deficiências do produto emanadas do estágio do projeto, podem ser devido a várias razões, entre outras citamos:

- a) As verdadeiras necessidades funcionais não foram claramente estabelecidas pelo projetista, a partir da voz do cliente.
- b) O projetista não avaliou concretamente as implicações das especificações, não averigüou o estado-da-arte do problema proposto, não atualizou os dados disponíveis, e não considerou o trabalho de pesquisa e desenvolvimento necessários.
- c) Os requisitos da área de detalhamento de projeto, do

departamento de produção e inspeção, da área de construção e teste de protótipos não foram corretamente e inequivocamente especificados.

- d) Instruções para operação e serviço, limitações de uso, alívio de sobrecargas, sistema que garantisse segurança em caso de falha, mecanismos à prova de usuários negligentes ou operadores não treinados não foram definidos de forma adequada.
- e) Em projetos onde pouco-peso/baixo-custo são importantes, as margens de segurança são inevitavelmente menores. Porém não se deve confundir margem de risco calculado e assumido, com riscos provocados por ignorância ou desatenção.
- f) Atribuição de tolerâncias. As dificuldades surgem por altura dos cálculos de tolerâncias para componentes e sua acumulação em conjuntos. A área técnica tem a tendência de tomar todas as precauções definindo tolerâncias muito estreitas, que muitas vezes a fabricação não pode alcançar ou então tolerâncias que na montagem do conjunto exigem ajustes locais. As tolerâncias normalmente incidem sobre cotas, rugosidades dureza do material.
- g) Erros técnicos em geral, provenientes de:
  - transcrição dos valores dos desenhos
  - de número de identificação da peça
  - de especificação de material
  - cálculo de resistência dos materiais - tensões térmicas e fadigas.
  - lógica de circuitos
- h) A qualidade do projeto só pode ser alcançada, se a atividade de projeto adotar o enfoque:
  - não se trata de atividade isolada na empresa.
  - deve atender as necessidades dos clientes.
  - deve ser economicamente viável.
  - Deve prover valor para o cliente na aquisição e durante a utilização do produto.

#### 8.4.1 - Projeto para Manufatura

Chamamos de projeto para manufatura porque essa abordagem envolve: fabricação, montagem, transporte, estocagem, etc; também é conhecido como projeto para ciclo de produção.

É uma prática que leva a prever ainda no estágio de projeto quais serão os problemas que poderão ocorrer no ciclo de produção e quantificá-los economicamente. Assim, eles podem ser corrigidos na prancheta de desenho de forma muito mais econômica que na fase de produção.

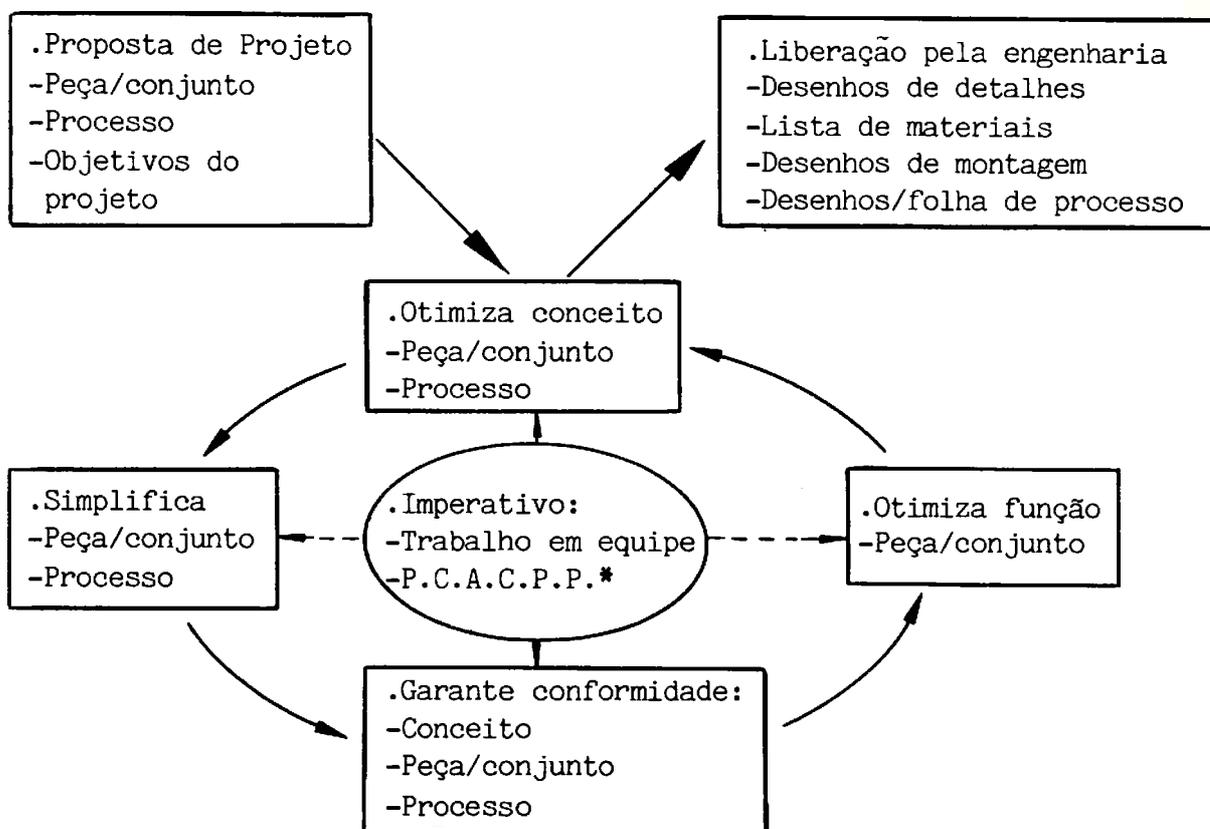
Projeto para manufatura é definido por STOLL (1988) como um conjunto completo de políticas, técnicas, práticas e atitudes, que leva uma peça ou conjunto a ser projetado para obtenção de custo ótimo de manufatura; o nível ótimo de qualidade de produção e o ótimo desempenho na sua vida útil.

O projeto para manufatura tem várias propostas de seqüências de atividades esquematizadas em ciclos e fases, cada uma refletindo mais culturas organizacionais ou tamanho das empresas do que propriamente alteração no conceito fundamental. Uma representação esquemática, que nos parece bastante clara é apresentada na Figura 8.5.

As quatro atividades compondo o processo são interligadas no modo circular para enfatizar a natureza iterativa do processo.

O projeto para manufatura começa com a proposta de um conceito/esquema para a peça ou conjunto, o processo de produção e os objetivos de projeto. Os objetivos de projeto podem incluir características de produto e de produção.

Cada atividade no processo ataca um aspecto particular do projeto. A otimização do conceito, produto e processo está voltada para a integração da proposta de características de produto com o processo de fabricação para assegurar a facilidade de produção. A simplificação concentra-se no projeto



\* Preocupação com aperfeiçoamento contínuo de produto e processo.

Fig. 8.5 Processo de projeto para fabricação. Adaptado de STOLL (1988).

dos componentes para fácil montagem e manipulação da peça. Essa atividade normalmente é rápida, porque os requisitos de projeto e processo, bem como suas restrições já identificam as áreas de problemas. A terceira atividade assegura conformidade do conceito e produto e deste para com as necessidades do processo. A quarta atividade otimiza a função da peça verificando-se se ela poderá desempenhar mais de uma função, com o intuito de se reduzir o número de componentes. O ciclo de processo de projeto para manufatura ajuda a assegurar todas as restrições de projeto, incluindo montagem, processos de transformação e requisitos de transporte sejam incluídos como parte da otimização funcional do projeto. Desse modo o

processo de projeto para manufatura habilita o engenheiro ou equipe de projeto a considerar todos os aspectos do projeto da peça ou conjunto e sua fabricação, ainda nos estágios iniciais do projeto, quando as modificações de engenharia podem ser feitas de modo eficaz e baixo custo.

Segundo STOLL (1988), um bom projeto de uma peça ou conjunto tem duas características:

- a) cada requisito funcional do produto deve ser satisfeito independentemente por algum aspecto, característica ou componente do projeto.
- b) Bons projetos maximizam a simplicidade. Em outras palavras, executam as funções necessárias com a mínima complexidade.

Diretrizes de projeto para manufatura são recomendações resultantes de boas práticas de projeto, derivadas empiricamente por anos de experiência de projeto e manufatura. Normalmente, são diretrizes que atuam tanto para estimular a criatividade e engenhosidade como para mostrar como se faz um bom projeto para fabricação. Quando seguidas corretamente, podem resultar em um produto mais fácil de fabricar. Várias recomendações de projeto para manufatura foram colocadas por vários pesquisadores, apresentamos a seguir algumas coletadas de STOLL (1988), COLEMAN (1990) e TANNER (1990).

- . Minimizar a quantidade de peças. Uma peça é uma candidata a eliminação se não houver necessidade de movimento relativo, de separar para facilitar a montagem, ajustes subsequentes entre peças, nem necessidade de separar para serviço ou reparo e nenhuma razão para o material ser diferente.
- . Simplificar o projeto para assegurar que as peças sejam fáceis de fabricar, montar, transportar, etc.
- . Padronizar onde for possível para facilitar a produção.
- . Desenvolver um projeto por sistemas ou subconjuntos modulares.

- . Assegurar que o produto tenha uma base adequada sobre a qual será efetuada a montagem. Usar o maior componente como base para montagem. Idealmente ele deverá ter um baixo centro de gravidade para ajudar a manter a orientação, permitindo um posicionamento preciso e seguro no "pallet" de transporte. Se possível a base deve servir como "pallet" no transporte entre as operações de montagem.
- . Minimizar os níveis de montagem.
- . Projetar para uma montagem unidimensional, de preferência aproveitando-se da gravidade.
- . Fornecer meios autoposicionantes nos componentes.
- . Evitar projeto que necessite montagem se utilizando de duas mãos obrigatoriamente.
- . Dar conicidade às peças para inserção e chanfrar a entrada dos furos nos quais as peças serão inseridas.
- . Fazer as peças simétricas ou totalmente assimétricas.
- . Evitar superfícies com depressões, reentrâncias, sulcos desnecessários ou quinas.
- . Projetar as peças de modo que não possam ser montadas erradamente. Se não for possível, então as peças subsequentes não poderão ser colocadas juntas se a peça anterior foi montada errada.

BARKAN ; HINCKLEY (1993) mostram que existem fatores fundamentais que podem contribuir para defeitos de montagem:

- . Número de operações de montagem.
- . O controle de qualidade, a capacidade de completar uma operação sem introduzir um defeito. Essa é a medida da eficácia da empresa e do nível técnico do seu pessoal de produção.
- . A complexidade das operações de montagem calibrado pelo tempo requerido para efetuar a operação.
- . O número de peças (um subconjunto do número de operações).
- . Probabilidade de defeito nas peças.

Concentrar a atenção aos aspectos de montagem durante o projeto tem impacto direto na redução do custo de produção conforme mostrado por SAVOIE et al. (1990), a montagem corresponde a 2/3 do custo total de manufatura.

As recomendações formam um conjunto de práticas de enfoque técnico, porém o que determina o sucesso do projeto para manufatura é ter em mente o conceito do cliente interno - o próximo no processo é seu cliente- e a determinação de atender suas necessidades.

Um alerta final. O projeto para manufatura no que concerne a simplificação, redução de peças, etc., deve estar subordinado ao projeto para serviço, porque soluções técnicas elegantes, otimizadas no processo de produção, mas que dificultam a manutenção encarecendo-a ou até mesmo impedindo-a, aumentam os custos de serviço e garantia, que podem levar à frustração dos clientes. Em última análise, o cliente final é o único juiz do nosso acerto no projeto.

#### 8.4.2 - Projeto para Interface Homem-Máquina

O projeto voltado para a interface homem- máquina reveste-se de importância como consequência da valorização da qualidade de vida, conceito este que engloba não só os aspectos do uso do produto como também as operações na linha de produção que de uma forma ou de outra podem afetar a saúde dos operários. Por exemplo, a competitividade dos automóveis está se voltando cada vez mais para os aspectos ergonômicos, com projetos de interiores cada vez mais voltados para atender os cinco sentidos do ser humano.

O ser humano deve ser entendido como parte do sistema. As principais características do ser humano como componente do sistema são:

##### 1. Dimensões físicas

2. Capacidade de avaliar dados
3. Capacidade para processar dados
4. Capacidade para atividade motora
5. Capacidade para aprender
6. Necessidades físicas e psicológicas
7. Sensibilidade para o ambiente físico
8. Sensibilidade para ambiente social
9. Ação coordenada
10. Diferenças entre indivíduos.

Portanto, a lista de requisitos de produtos que tradicionalmente contém aspectos técnicos e econômicos relacionados a desempenho, fabricação, custos, transporte, embalagem, etc, deve conter também requisitos ergonômicos. Os requisitos ergonômicos devem estar relacionados com as interações homem-produto em todas as fases da vida do produto, isto é, desde a construção do protótipo até à eliminação, reciclagem ou descarte do mesmo.

Em cada fase da vida do produto há interação do mesmo com pessoas, sendo este contato direto (operador, usuário) ou indireto (outras pessoas).

A lista de requisitos deve, portanto, conter requisitos que se referem à segurança; à humanização na fabricação, no transporte, na utilização, no conserto e também na eliminação ou reciclagem do produto. Por isso, o projeto para interação homem-máquina deve prover a interação entre produto e as pessoas direta ou indiretamente envolvidas nas várias fases da vida do produto.

Tendo em vista a finalidade e as interações homem-produto, durante o projeto de produto devem ser levantadas questões referentes aos itens a seguir, de acordo com SELL (1989).

- Atuação da pessoa diretamente envolvida;
- Reação do produto (efeito) sobre a pessoa e o meio;

- reações secundárias (efeitos) do sistema homem-produto sobre o meio-ambiente e sobre outras pessoas;
- efeitos perturbadores sobre o sistema homem-produto.

As respostas para as questões acima vão surgindo no decorrer do projeto. Às vezes podem surgir conflitos entre aspectos ergonômicos, técnicos e econômicos, neste caso é preciso uma análise mais detalhada envolvendo critérios de riscos potenciais.

Para elaboração dos requisitos ergonômicos no projeto voltado para a interação homem-máquina, sugerimos a lista a seguir proposta por SELL (1989) no 4º Seminário Brasileiro de Ergonomia. Ela nos parece suficientemente abrangente e prática, voltada para a realidade brasileira. Os requisitos propostos independem do tipo de produto e são formulados de maneira tão geral que são úteis para utilização no início do projeto e desenvolvimento.

Requisitos ergonômicos para Projeto de Produto:

A) Requisitos Funcionais:

- 1) Conveniência e eficiência da contribuição do homem num dado sistema (p.ex. relativo à mecanização e à automatização).
- 2) Conveniência da construção de peças individuais ( p.ex. adequado fornecimento de informações, nada de supérfluo).
- 3) Simplicidade da contribuição do homem num dado sistema (p.ex. apenas um comando para uma certa função - no carro há dois pedais para a função acelerar: acelerador e freio).
- 4) A rapidez e o rendimento requeridos do homem.
- 5) A contribuição do homem para a rapidez e o rendimento do sistema.
- 6) A precisão requerida do homem.
- 7) A contribuição do homem para a precisão do sistema.
- 8) A contribuição do homem para a confiabilidade do sistema.

- 9) Não permitir ao homem ações e acionamentos errados ( p. ex. evitar o acionamento involuntário).
  - 10) Fácil e rápido aprendizado para utilização ou aplicação.
  - 11) Boa visibilidade, boas condições para observação.
  - 12) Boas possibilidades para controle.
  - 13) Boas possibilidades de detecção e interpretação de informações e sinais, ausência de perturbações.
  - 14) Boas possibilidades de detecção e reconhecimento de objetos (p.ex. quando o objeto se aproxima ou para localizá-lo).
  - 15) Estimular ou atrair a atenção para informações e sinais importantes.
  - 16) Boas possibilidades de aprender a diferenciar informações e sinais.
  - 17) Boa e clara disposição do objeto e de suas partes.
  - 18) Bom alcance de comandos, pegadores e outros pontos de manipulação (p.ex. pontos de alimentação de máquinas).
  - 19) Possibilidade para rápida troca de atividade (p.ex. no carro a mão troca do volante para o comando da luz alta).
  - 20) Boa pega de comandos, pegadores e outros pontos de manipulação - boa aderência entre extremidade corporal e ponto de contato.
  - 21) Manuseabilidade do objeto ( p. ex. para segurá-lo ou carregá-lo).
  - 22) Clareza e inequívocos nas informações e nos movimentos a executar.
- B) Requisitos relacionados com a solicitação das pessoas:
- 23) Solicitação suportável; evitar posturas forçadas e trabalho muscular estático; permitir alteração do grupo de músculos solicitados; suportável pressão sobre a pele ao segurar ou pressionar objeto; geração de forças dentro de limites aceitáveis; decurso harmônico dos movimentos; solicitação mental suportável, possibilidade de recuperação

- 24) Nenhum importuno para pessoas direta e indiretamente envolvidas (p.ex. por ruído ou vibrações).
  - 25) Conforto para as pessoas envolvidas (p.ex. um clima agradável no ambiente de trabalho).
  - 26) Comodismo para as pessoas envolvidas ( p.ex. sentar confortavelmente).
  - 27) Nenhum perigo de lesão para pessoas direta e indiretamente envolvidas (p.ex. por: cortar, tosquiar, prensar, picar, arremessar, engatar, escorregar, queimar).
  - 28) Nenhum dano ou prejuízo à saúde das pessoas direta e indiretamente envolvidas (p.ex. por: ruído, gases tóxicos, poeiras, calor).
  - 29) Estímulo e variação nas atividades, ausência de monotonia para a pessoa que interage com o objeto.
  - 30) Possibilidade de desenvolvimento e crescimento pessoal para a pessoa que interage com o objeto.
  - 31) Nenhuma sub nem supersolicitação da pessoa devido a tarefa.
  - 32) Satisfação para a pessoa que interage com o objeto, considerando-se também as necessidades sociais e pessoais (p. ex. necessidade de comunicação com os colegas).
- C) Requisitos derivados de restrições secundárias:
- 33) Consideração da frequência, da importância, da sequência e da concomitância de processos elementares que o homem deve executar ou considerar.
  - 34) Acessibilidade para a pessoa, também de parte de seu corpo; membros (p.ex. aberturas para alcançar peças e partes interiores de máquinas).
  - 35) Nenhum estorvo de outras atividades.
  - 36) Possibilidade de rápida mudança de lugar em caso de perigo (saídas de emergência).
  - 37) Materiais higiênicos e inócuos à pele, além disso facilidade de limpeza.

### 8.4.3 - Projeto Para Serviço

Quando um produto é projetado sem ter em mente o serviço ao cliente, a tarefa de produzir um serviço excelente torna-se quase impossível. Os defeitos constantes elevam os custos de garantia, e a dificuldade de conserto frustra tanto os funcionários responsáveis pelo serviço, quanto os clientes.

Projetar tendo em mente o serviço, significa dar voz aos funcionários da linha de frente do serviço desde o início, para que expressem sua opinião sobre o projeto.

Quando o pessoal de suporte técnico não consegue resolver o problema, raramente a culpa é dele. Quase sempre a culpa é do engenheiro de projeto e da gerência responsável pelas decisões de projeto.

Os engenheiros de projeto não gostam de ouvir isso. Fazer produtos úteis ou criar procedimentos de serviço à prova de falhas são desafios que não interessam à maioria dos engenheiros. Normalmente, o engenheiro busca soluções técnicas ditas elegantes, que atendem um número de especificações de desempenho com o menor número de componentes, processos ou sistemas, subordinando o cliente à solução técnica. É raro a empresa ter como prática, o engenheiro projetista ouvir o representante de serviço ao cliente, e quando o faz, o projeto básico já está pronto, modificá-lo para melhorar o serviço será um adendo. A separação entre projeto e serviço ao cliente é um fato na vida das empresas.

Projetar produtos tendo-se em mente o serviço não é tarefa fácil. Acrescenta mais uma atividade ao processo de desenvolvimento. Em primeiro lugar é preciso estimar os custos, tanto imediatos como marginais de um defeito para o cliente.

Na Figura 8.6 classificamos os produtos de acordo com seus custos e implicações para o projeto.

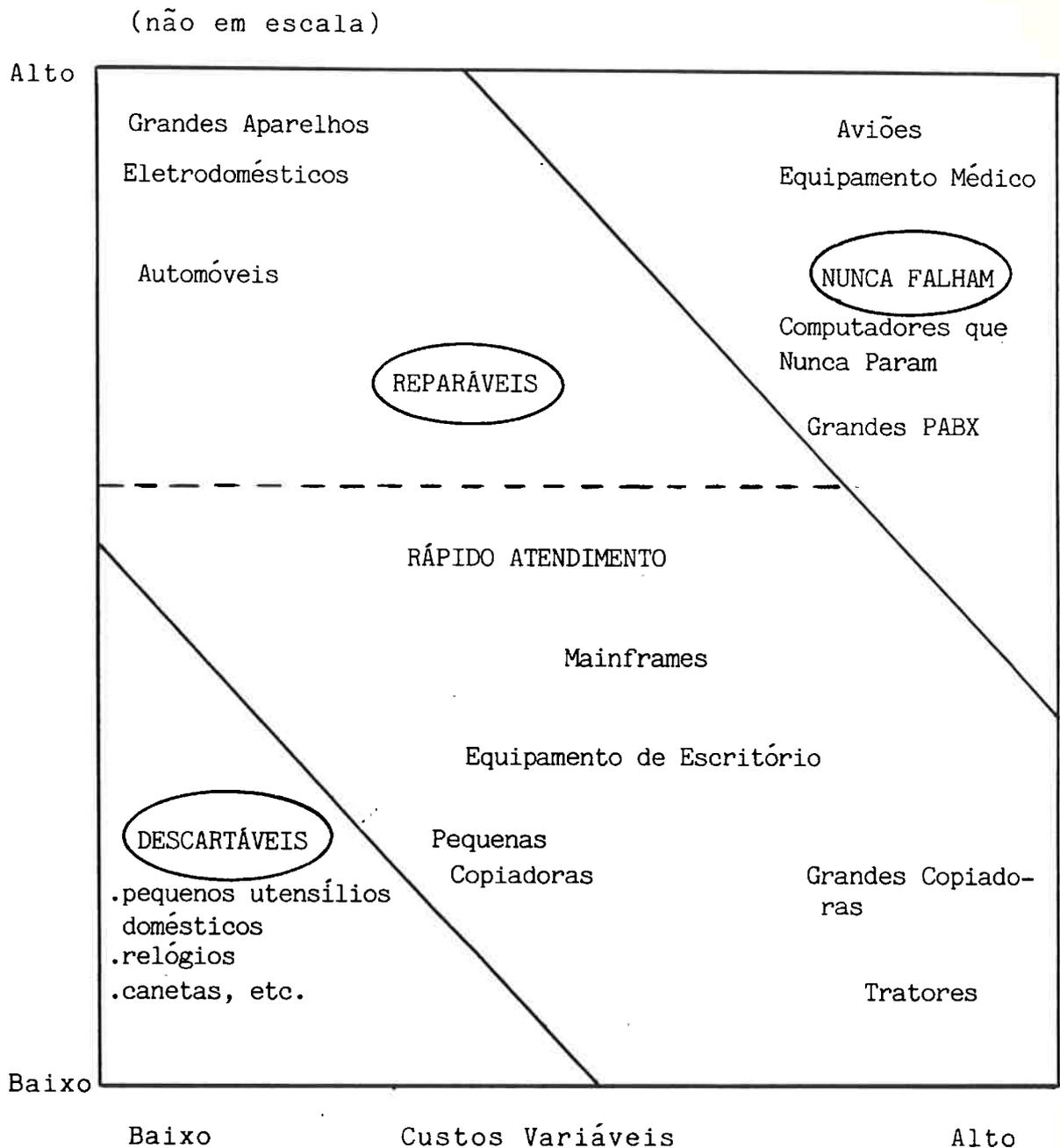


Figura 8.6 Implicações para Projeto. Classificação dos Produtos de acordo com custos. Adaptado de LELE;SHETH (1991) p.201.

Os dois tipos de custos variam, dependendo de quando e como o produto é usado. Os custos de defeitos do produto aliados ao custo de sua aquisição determinam o tipo de projeto desejado:

.Descartável. Produto barato e o defeito pesa pouco no bolso do cliente, faz sentido projetar para não ser consertado e

sim descartado

.Reparáveis. Quando o produto apresenta custos fixos altos devido ao defeito, comparado aos custos marginais. Neste caso o projeto deve ser voltado para alta confiabilidade, e custos de reparos gratuitos para o cliente. É o caso de automóveis e de grandes eletrodomésticos.

.Rápida resposta. Quando os custos variáveis são de primeira importância. Neste caso o projeto deve ter alta confiabilidade junto com sistema de suporte que reduza o tempo parado. Por exemplo, Tratores, Caminhões, Computadores, Copiadoras.

.Nunca falham. Quando ambos, custos fixos e variáveis de defeitos são altíssimos. Neste caso, o projeto deve incorporar sistemas à prova de falhas. Normalmente o projeto incorpora sistemas redundantes do tipo falha-um-entra-outro automaticamente, muito comum em aviões, equipamentos médicos de suporte de vida, etc.

Apresentamos três regras básicas que o projetista deve ter em mente para projetar para o serviço.

1. Perseguir os Pontos Fracos. Primeiro, é preciso ter uma idéia clara dos possíveis defeitos do produto. Prestar bastante atenção em como os clientes podem causar defeitos inesperados. Depois, planejar respostas incorporadas ao produto, se não for possível, planejar as respostas da empresa de forma que elas excedam as expectativas do cliente.
2. Reunir o Pessoal de Serviço. Fazer com que as pessoas participem desde o início do projeto, sempre subordinando a técnica ou uma solução mais elegante à satisfação do cliente final.
3. Dividir o Trabalho. É contar com a ajuda dos clientes e equipamentos eletrônicos para auto diagnóstico. Dessa forma o conserto fica facilitado tornando a resposta mais rápida.

As regras acima, abordam aspectos gerenciais e de pla-

nejamento. A seguir sugerimos algumas práticas diretamente ligadas ao projeto de máquinas e componentes.

- .Evitar o projeto de superfícies guias diretamente na carcaça ou corpo das máquinas; para facilitar os reparos, tais superfícies devem ser colocadas em partes individuais facilmente substituíveis.
- .Fazer as máquinas dependentes de uma manutenção tão simples quanto possível; reduzir o escopo da manutenção eliminar ajustes periódicos; fazer os mecanismos como unidades auto-servidas, como por exemplo, sistemas automáticos de lubrificação.
- .Eliminar a lubrificação periódica; assegurar um provimento automático e contínuo de lubrificantes nas superfícies de atrito.
- .Evitar mecanismos expostos, encapsular todos os mecanismos prevenindo contaminação por agentes externos e assim permitir a lubrificação contínua ser efetuada.
- .Aumentar o uso de peças padronizadas; adotar os padrões nacionais e locais, ou se for o caso, os padrões para onde a máquina for destinada.
- .Conceber a máquina com formas simples e suaves que permitam e facilitem sua conservação em forma simples e limpa.
- .Fazer os conjuntos ou unidades e mecanismos que requerem inspeção facilmente acessíveis.

#### 8.4.4 - Projeto Para Disponibilidade

Disponibilidade é o conceito que combina confiabilidade e manutenibilidade; é a proporção do tempo que o produto funciona em relação ao tempo total de operação pré-determinada. Confiabilidade é a probabilidade de que o produto funcione sem falhas, por um determinado período de tempo sob certas condições de operação, enquanto manutenibilidade, é a pro-

babilidade do componente ou produto que tenha falhado, ser colocado de volta em operação dentro de um dado período de tempo.

Para produtos complexos a confiabilidade e a manutenibilidade são importantes parâmetros de qualidade percebida pelo cliente. Qual a prioridade da disponibilidade no desenvolvimento de um novo produto? A avaliação dessa questão, requer uma reflexão sobre os custos para o cliente, seguindo o mesmo raciocínio adotado para projeto para serviço.

Os componentes da disponibilidade incluem:

- a) O tempo necessário para determinar que uma falha ocorreu e diagnosticar a ação de reparo necessária.
- b) O tempo necessário para executar a ação do reparo.
- c) O tempo necessário para verificar o produto e confirmar que o reparo foi efetivo e o sistema voltou a estar operacionalmente disponível.

As seguintes ações deverão ser consideradas no projeto para disponibilidade:

1. Revisar as necessidades dos usuários para verificar se a função das peças pouco confiáveis é realmente necessária para o usuário, se não for eliminá-las do projeto.
2. Considerar as perdas e ganhos de disponibilidade em relação a outros parâmetros, tais como: desempenho funcional, peso, tamanho, resistência, custo, etc., sempre levando-se em conta as necessidades do cliente.
3. Analisar cuidadosamente a escolha de quaisquer peças novas não testadas.
4. Guardar dados de experiências passadas sobre equipamentos semelhantes e extrapolá-la para fazer previsões de projeto.
5. Projeto modular.

Quanto à prática de projeto com vistas à disponibilidade, além daqueles mencionados para projeto para serviço, temos os seguintes, adaptados de ORLOV (1976).

.Projetar a máquina de modo a assegurar sua operação sem falha com a completa exclusão de custos de reparo e redução de qualquer outro reparo pela substituição da unidade.

.Conceber alta resistência aos componentes e à máquina como um todo, sem aumentar seu peso (usar formas mais racionais adequadas para a máxima utilização de suas propriedades mecânicas; empregar materiais de alta resistência, introduzindo tratamento superficiais, etc.).

.Dedicar grande atenção ao aumento de cargas cíclicas sobre as peças; usar as formas adequadas para alta resistência à fadiga; eliminar concentração de tensão desnecessária; introduzir tratamentos superficiais para aumentar a resistência à fadiga (temperar por indução, nitretação, jateamento de areia, etc.).

.Nas máquinas, conjuntos ou mecanismos, peças e componentes sujeitos a cargas cíclicas ou cargas dinâmicas, introduzir elementos resilientes para amortecer impactos e flutuação de cargas.

.Prevenir a sobrecarga da máquina durante a operação; introduzir monitoramentos automáticos e mecanismos limitantes que impeçam a máquina de trabalhar sob condições perigosas.

.Evitar falhas e acidentes resultantes de pessoal não qualificado e falta de atenção; introduzir mecanismos interbloccantes, os quais devem evitar manipulações erradas dos controles; fazer os controles da máquina tão automáticos quanto possível.

.Garantir um travamento confiável das conexões aparafusadas para evitar auto-soltura; travar as conexões internas por métodos positivos (aplicar ranhuras, chavetas, arruelas-de-bico, arruelas de pressão, etc.).

.Prevenir a corrosão das peças, particularmente nas máquinas operando ao ar livre ou que tenham contatos com meios quimicamente agressivos, pela aplicação de coberturas superficiais

por elementos quimicamente estáveis, ou na forma de pinturas e vernizes ou eletrodeposição, e também pela manufatura de peças com materiais resistentes à corrosão.

.Fazer o projeto da máquina tão simples quanto possível; evitar construções complexas de componentes múltiplos.

.Sempre que possível trocar os mecanismos com movimentos retilíneos recíprocos por mecanismos rotatórios mais vantajosos.

.Implementar a máxima unificação dos elementos constitutivos com vista a reduzir o custo de máquinas, encurtando o tempo de sua fabricação e facilitando sua operação e reparos.

.Nunca utilizar peças especialmente projetadas ou conjuntos, quando for possível empregar aqueles padronizados, unificados e comprados.

.Economizar no gasto de materiais caros e materiais de baixo volume de fornecimentos, substituindo-os por outros igualmente bons, baratos e disponíveis; se a utilização de materiais especiais de baixo volume de fornecimento for inevitável, manter seu consumo ao nível mínimo possível.

#### 8.5 - Controle de Qualidade na Engenharia

O papel do engenheiro no projeto de um novo produto é basicamente lidar com limites - resistência, velocidade, temperatura, etc. Limites do quê? Dos fatores técnicos dos produtos que mais interessam aos clientes. O segredo está em relacionar esses fatores técnicos que são mensuráveis aos fatores que os clientes percebem como importantes no momento da

decisão de compra. Isso normalmente é uma tarefa fácil, quando se trata de produtos industriais ou bens de capital, cujas características técnicas são bem definidas e fornecedor e cliente discutem as mesmas variáveis, como por exemplo, consumo de energia, capacidade de carga, grau de pureza de uma liga metálica. No caso de bens de consumo duráveis é difícil se determinar os limites das características mais importantes para o cliente.

Assim, o primeiro aspecto de qualidade da engenharia é sua capacidade de calcular limites para os parâmetros de desempenho. Essa capacidade tem um forte efeito multiplicador nos custos do produto até sua saída da linha de produção. Calculando limites.

Isso precisa ser feito para cada parâmetro de desempenho, o que implica calcular também para cada tecnologia.

Limites aqui no sentido de até onde esses parâmetros vão chegar ou por imposição técnica ou por deixarem de representar mais valor para o cliente.

A melhor maneira é reunir o pessoal técnico com apreciável formação e com outras pessoas não técnicas, porém, acostumadas com o mercado a fim de discutir que mecanismos poderiam limitar o desempenho da tecnologia.

Será a termodinâmica? Química? Leis do movimento? Alguma força física fundamental? Combinação destas?

Uma vez determinados os limites, o valor numérico precisa ser estimado. Isso deve ser feito pelos engenheiros ou pessoal técnico, uma vez que exige uma compreensão dos mecanismos limitantes e das leis da ciência.

O segundo aspecto de qualidade da engenharia é sua capacidade de identificar parâmetros de desempenho. Toda a medida da qualidade depende da compreensão clara desses parâmetros, é de fato o que medir e o que comparar.

### Identificando Parâmetros de Desempenho.

Identificar os parâmetros de desempenho para seus clientes. Relacioná-los aos principais fatores de projeto de cada abordagem técnica específica.

Tudo isso é bastante complexo e demanda tempo. A melhor abordagem é selecionar algumas áreas críticas e concentrar-se nelas, em vez de tentar cobrir toda a gama de parâmetros.

É importante compreender que os parâmetros mudarão com o tempo. A análise do passado e do presente é geralmente crítica, por fazer as melhores suposições sobre como serão os parâmetros de desempenho futuros. Uma maneira útil de dar partida a essa análise, é examinar o ritmo passado das mudanças dos parâmetros de desempenho. Tem sido rápido? Lento? Porque o mercado mudou, o que queria e porque a concorrência mudou?

Com essas avaliações em mãos, pode-se prosseguir e fazer uma previsão bem embasada sobre os futuros parâmetros de desempenho.

Essa capacidade é que garante que o produto ao sair da linha de produção não esteja desatualizado.

Atendidos os dois aspectos de qualidade de engenharia: capacidade de calcular limites e identificação de parâmetros, quais seriam as medidas de controle da engenharia?

### Controle de Qualidade na Engenharia.

Já comentamos da dificuldade de se implementar controle de qualidade em áreas administrativas. Mais difícil ainda é implementar as medidas de qualidade na área de engenharia. Os engenheiros são zelosos do seu status de elite intelectual na organização e são resistentes a ver seu desempenho publicado.

Na tabela 8.6, propomos algumas medidas indicadoras de qualidade da engenharia, que atende perfeitamente aos objetivos práticos:

Tabela 8.6 CONTROLE DE QUALIDADE NA ENGENHARIA.  
PRINCIPAIS MEDIDAS.

Dimensão	Medida
Exatidão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de mudanças de engenharia por desenho.</li> <li>- Número de problemas descobertos antes da entrega.</li> <li>- Número de problemas descobertos antes da produção.</li> <li>- Número de reclamações relativas ao projeto.</li> </ul>
Pontualidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tempo para solução de problemas.</li> <li>- Diferença entre data de lançamento objetivo e da data real, para diversos produtos.</li> </ul>
Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Percentagem de reuniões que começam na hora.</li> <li>- Percentagem de prazos não cumpridos.</li> </ul>
Atendimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Percentagem de tempo com cliente/fornecedor.</li> <li>- Percentagem de tempo com o pessoal da produção.</li> <li>- Percentagem de consultas respondidas corretamente e no tempo certo.</li> <li>- Número de sugestões para resolver problemas.</li> </ul>
Adaptabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantos projetos ou produtos por engenheiro.</li> <li>- Quantos produtos novos por engenheiro.</li> <li>- Quantos produtos derivados por engenheiro.</li> </ul>
Lucratividade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valor total de redução de custo por peça e por produto.</li> <li>- Número total de redução de peças por produto.</li> <li>- Quantidade total de peças componentes do produto.</li> </ul>
Flexibilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de fornecedores desenvolvidos por peça.</li> <li>- Nível de qualidade dos fornecedores.</li> <li>- Número de projetos conduzidos por fornecedores, por engenheiro.</li> </ul>
Treinamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de engenheiros que participam de seminários.</li> <li>- Valor total gasto em treinamento/por engenheiro.</li> <li>- Horas gastas em seminários internos.</li> <li>- Horas gastas em treinamentos.</li> </ul>

O objetivo do controle de qualidade na engenharia é assegurar que o número de modificações de projeto, revisões de desenho, processo, etc. alcance zero no estágio de produção piloto, ou no máximo no estágio de produção inicial,

na aceleração da produção. Existem empresas excelentes e as empresas incompetentes para desenvolver produtos, de acordo com a quantidade de modificações de projeto, representadas na Figura 8.7.

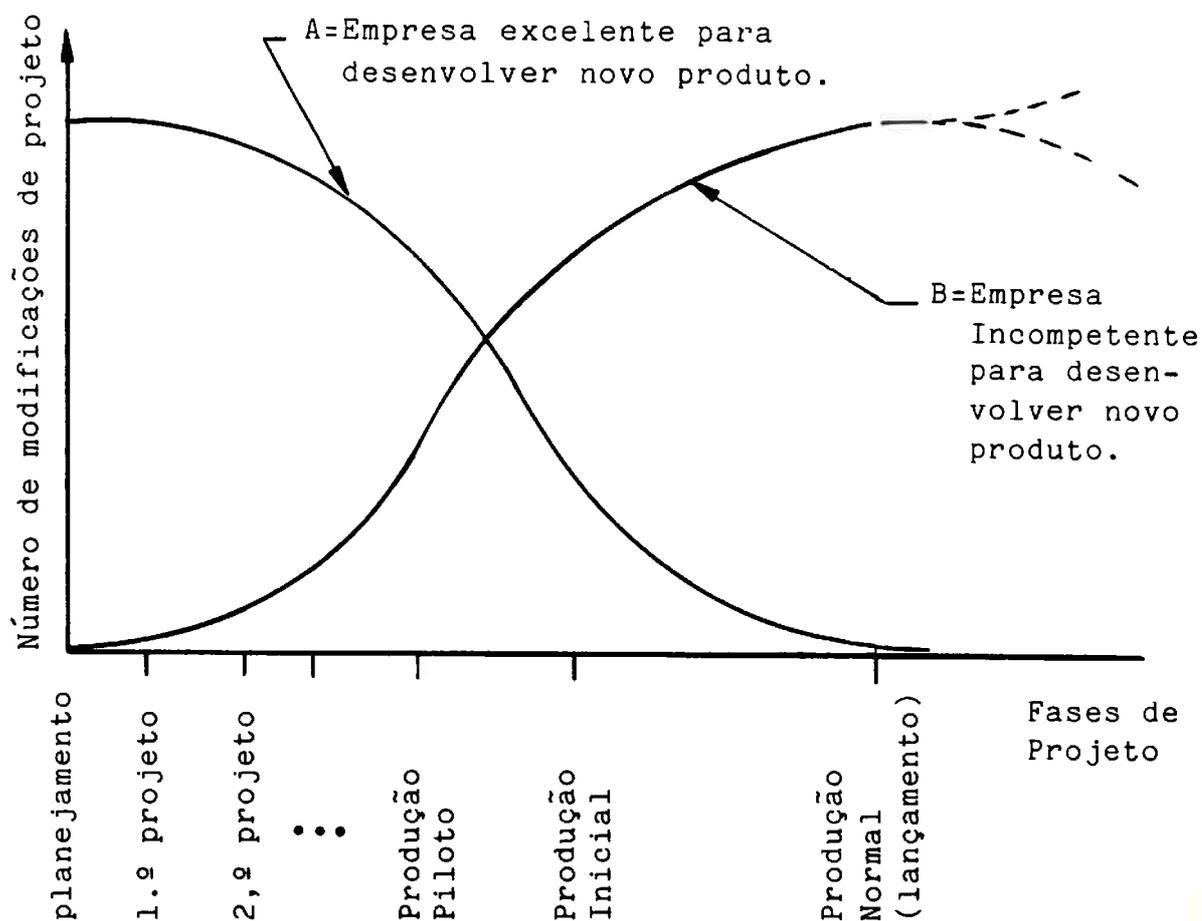


Fig. 8.7 Tendências na quantidade de modificação de projeto e competência de engenharia. Adaptado de ISHIKAWA (1990) p.342.

### 8.5.1 - Revisões no Projeto Total

As revisões de projeto são atividades que asseguram a unificação dos objetivos durante toda a fase de projeto e desenvolvimento de produto, em outras palavras, fornece o mecanismo para o controle do programa. Neste contexto, controle quer dizer somente a garantia de que o produto final esteja de acordo com seu conceito ou objetivos estabelecidos na fase inicial.

A revisão de projeto não é nova. Nos produtos tradicionais ela é realizada pelo diretor da empresa, pelo diretor do departamento técnico, por uma comissão de novos produtos ou por especialistas do planejamento de manufatura.

Para alcançar a dimensão de Produto Total há necessidade de um programa estruturado. As características de tal programa incluem, conforme JURAN; GRZYNA (1992):

1. As revisões de projeto tornam-se mandatórias, tanto por exigência do cliente, como por política da alta administração.
2. Reúne um grupo multifuncional de especialistas para discutir os problemas do produto, projeto, fabricação, etc. Esse grupo deve ter um bom equilíbrio entre técnicos novatos e aqueles com larga experiência. JURAN ; GRZYNA (1992) sugerem ainda a inclusão de um desenhista industrial externo, um representante de uma universidade ou da imprensa técnica. Nós achamos um certo exagero nessa recomendação, talvez esse caso seja aplicável em projeto de bens de consumo e bens duráveis na fronteira do conhecimento.
3. A decisão final quanto às informações obtidas através da revisão de projeto cabe ao projetista. Ele deve ouvir a equipe de especialistas, porém, em questão de integridade estrutural e outros aspectos criativos do projeto, ele detém o monopólio da decisão. O controle e publicação das

especificações permanecem com o projetista.

4. As revisões de projeto são formais. As reuniões são agendadas previamente, a documentação deve ser preparada e enviada com antecedência. Após as reuniões são distribuídas minutas da reunião e o acompanhamento das ações é formalizado.
5. Os assuntos podem incluir confiabilidade, desempenho, manutenibilidade, produtibilidade, capacidade de teste, intercambiabilidade, instalação, segurança, ergonomia, aparência, além de custo. Se necessário, outros parâmetros podem ser incluídos em casos específicos. Também a revisão de projeto pode restringir-se apenas a alguns dos parâmetros mencionados.
6. As revisões de projeto devem ser feitas com base em critérios definidos, que podem incluir exigências do cliente, padrões da indústria, regulamentos legais e listas de verificação baseadas em experiências anteriores.
7. Revisões de projeto são conduzidas nas várias fases de desenvolvimento de produto. Existem diversas classificações de revisão de projeto. Optamos por aquelas de DHILLON (1985), que melhor se adequam ao processo de Projeto Total:

a) Revisão Preliminar do Projeto.

Essa revisão deve ser efetuada antes de se formular o projeto inicial. O objetivo desse tipo de revisão é examinar cada requisito das especificações traduzidas da "voz-do-cliente" para itens tais como: completeza, validade e precisão. De acordo com DHILLON (1985) os seguintes itens devem ser revistos na fase preliminar:

1. Disponibilidade de materiais.
2. Peças críticas.
3. Legislação pertinente relativa ao projeto do produto.

4. Responsabilidades legais e riscos do produto.
5. Identificação e segmentação do mercado.
6. Objetivos de custo.
7. Necessidades, desejos e requisitos do cliente.
8. Normas e padrões oficiais concernentes à qualidade, confiabilidade, segurança, etc.
9. Restrições associadas com o projeto em análise.
10. Dados importantes associados com o ciclo de vida de produtos similares anteriores.
11. Funções requeridas do produto em análise.
12. Requisitos impostos pelo cronograma.
13. Requisitos de documentação, propostas de engenharia e análise de valor, considerações de testes experimentais e riscos.
14. Análise da alternativa de comprar ou produzir componentes.

b) Revisão Intermediária de Projeto.

Este tipo de reunião é conduzida antes de se efetuarem os desenhos técnicos finais para produção. Nesse caso, são analisados os layouts de sistemas mecânicos completos, os processos de produção sugeridos, fontes de fornecimento, etc. Neste estágio, as mudanças de projeto ainda tem custo relativamente baixo.

c) Revisão Final de Projeto.

Esta revisão é conduzida após o término dos desenhos de processo e produção. Nesta fase, uma quantidade considerável de informações estão disponíveis para a equipe. Mudanças de projeto nesta fase já apresentam um custo mais elevado.

O estabelecimento de revisão de projeto como boa prática de engenharia não é tarefa fácil, apenas uma minoria de empresas consegue consolidar essa prática, obtendo então considerável retorno em termos de qualidade técnica, desenvolvimento de pessoal, etc.

Os componentes para uma revisão de projeto satisfatória incluem, JURAN;GRYNA (1992):

1. Ênfase em informações construtivas para os projetistas, em vez de críticas.
2. Evitar qualquer competição a nível tecnológico que leve o engenheiro a achar que há outros competindo pelo papel de projetar o produto.
3. Cronogramas realistas.
4. Recursos suficientes.
5. Planejamento adequado para reuniões de revisão de projeto.
6. Enfoque nos aspectos não comprovados e não testados de um projeto.
7. Estrutura organizacional suficiente no processo de revisão do projeto.
8. Uma percepção de que a revisão de projeto pode revelar alguns conflitos interdepartamentais. Neste caso, alguns meios devem estar disponíveis para a solução desses conflitos.
9. Diretriz da administração. A administração deve formalizar o processo de revisão de projeto, a fim de esclarecer todos os interessados, que os recursos, o tempo e as prioridades devem refletir a importância da atividade.

#### 8.5.2 - Revisão de Projeto - Guia de Perguntas

A revisão de projeto procura identificar e explicar a conexão entre seu gerenciamento e execução com os resultados alcançados. Seis áreas principais para investigação e os tipos de questões que podem ser dirigidas são apresentadas a seguir.

Essas questões são resultado de nossa experiência pro-

fissional e a inclusão de outras adaptadas de WHEELWRIGHT; CLARK (1992b).

#### Histórico

- . Qual foi o motivo do projeto? Porque está sendo realizado agora?
- . Qual a estratégia do produto? Onde foi colocada maior ênfase? Quais são as metas do projeto?

#### Atividades de Pré-projeto

- . Quantas alternativas foram consideradas no estágio de concepção? Esse projeto em particular que estamos estudando, por que foi escolhido?
- . Quais foram as fontes de idéias?
- . Como a empresa coloca as bases para o projeto em termos de estabelecimento de estratégia do negócio, e como aquela estratégia foi usada no processo de tomadas de decisão?
- . Com que a estratégia de desenvolvimento se parece?

#### Equipe de Projeto

- . Quais funções dentro da organização são formalmente atribuídas às pessoas no projeto, em dedicação total?
- . Quais funções foram atribuídas em tempo parcial?
- . Qual a estrutura organizacional da equipe?

#### Gerenciamento do Projeto

- . Existe um gerente de projeto - alguém que possui o título de gerente de projeto ou tem a responsabilidade por ele?
- . Se assim for, qual é o papel do gerente de projeto? Qual o grau de influência que ele possui nas decisões a nível de trabalho em marketing, engenharia e manufatura?
- . Se não tem um líder de projeto, como a liderança é exercida?
- . Quais são as fases de desenvolvimento e marcos principais que o projeto deve atender? Quando eles ocorrem?
- . Quem é responsável pelas decisões e colocação de recursos no projeto?
- . Qual o papel dos gerentes funcionais, o do líder do projeto e da alta gerência?
- . Quando surgirem conflitos no projeto, como eles serão resolvidos? Que tipos de conflitos são mais difíceis de resolver?

- . Qual o papel da alta gerência nos conflitos?

#### Revisão e Controle da Alta Gerência

- . Qual o papel da alta gerência nas diferentes fases do projeto?
- . Qual critério a alta gerência utiliza para rever os projetos?
- . Como os objetivos são postos e definidos? Usando que tipo de informação?

#### Protótipos e Testes

- . Como os protótipos são usados no desenvolvimento?
- . Quantos ciclos de protótipos existem? Quantos protótipos são produzidos em cada fase?
- . Como o processo de construção de protótipos é organizado?
- . Que testes são efetuados? Por quem?

A título de exemplo, apresentamos uma lista de ações para revisão de projeto de um eletrodoméstico.

#### Concepção elétrica

- Características de desempenho importantes e críticas incluindo resultados de ensaio.
- Concepção do circuito e variantes possíveis; resultado dos estudos de compromisso.
- Interfaces, entradas e saídas.
- Utilização de componentes normalizados
- Características do meio ambiente para funcionamento.
- Situação de patentes.

#### Concepção mecânica

- Funções mecânicas.
- Aspecto visual e fatores humanos.
- Utilização de materiais e acabamento normalizado.
- Fatores de montagem.
- Limites do meio ambiente, incluindo resultados de ensaio.
- Análise de valor, incluindo resultados de estudos de compromisso.
- Situação de patentes.

- Pontos de divergência para os quais são requeridas novas especificações.

#### Confiabilidade

- Requisitos do cliente ou da especificação.
- Cálculos.
- Demonstração.

#### Produtos comprados

- Especificação dos produtos comprados.
- Disponibilidade dos produtos.
- Garantia de poder contar com origens diversas.
- Qualificação do fornecedor.
- Qualificação do componente.
- Estimação do preço de custo, incluindo os produtos comprados.

#### Fabricação

- Preço de custo.
- Tolerâncias
- Possibilidades de fabricação existente ou prevista.
- Processos de fabricação.
- Dispositivos.
- Processos de ensaio.
- Equipamento de ensaio.
- Investimento.

#### Qualidade

- Especificações, incluindo a especificação de ensaio de qualificação.
- Planos de amostragem.
- Segurança do produto.
- Armazenagem e transporte.

#### Análise de valor

- Posição de mercado.
- Economias calculadas.
- Resultados comprovados.

## 8.6 - Análise Para o Ciclo de Vida

Antes de tudo, o que vem a ser vida útil e o que acontece quando um produto atinge o final de uma vida útil? É frequente se dizer que a vida útil de um produto termina quando ele quebra e não pode mais ser usado, mas essa visão é incorreta. Um produto atinge o final de sua vida útil quando ele não pode mais fornecer seu desempenho total; no caso de uma máquina ou instrumento de medida, por exemplo, isso significa que ela não pode mais exercer sua completa capacidade de processo ou operar dentro de uma precisão esperada. Portanto é necessário uma análise do produto durante sua vida útil e qual sua destinação ao término dela.

A resposta a essas perguntas vem do que chamamos Análise Para o Ciclo de Vida. A proposta da análise para o ciclo de vida leva à necessidade do projetista considerar as seguintes questões:

- .É possível dizer que o produto é verde?
- .Estamos preparados para possíveis ações reguladoras?
- .Qual o impacto poluente do produto e dos processos de produção?
- .É possível desmontar e reciclar o produto no final da vida de forma econômica?
- .Quais as responsabilidades legais do fabricante em relação ao produto?

A preocupação com esses aspectos estão se consolidando na Europa, e certamente não tardarão a chegar ao Brasil. A partir da década de 90 a valorização do meio ambiente e reciclagem levará à necessidade de se descartarem os produtos eficientemente. Como consequência, o projetista conceberá os meios de fixação para permitir a desmontagem. Também deverá considerar os produtos compostos que são difíceis de reciclar porque combinam vidro, metais, plásticos e outras fibras

tornando anti-econômica a separação, se não impossível.

O aspecto interessante da preocupação com a desmontagem é que isso nos levará de volta a técnicas de concepção de projeto de produto e sua construção dos anos 30 e 40, quando principalmente automóveis eram feitos para serem consertados, e quase tudo era desmontável. É um refluxo da sociedade do descartável que surgiu como consequência dos altos custos de mão de obra e baixo custo dos materiais e processos de fundição por injeção e proliferação dos plásticos. A análise do ciclo de vida leva a repensar esses conceitos.

A análise do ciclo de vida é uma imposição do nosso tempo. A inclusão dessa atividade no Projeto Total tem caráter pró-ativo e a empresa que incorporar essa preocupação em seus produtos de forma econômica estará levando vantagem para dar entrada no próximo século em uma posição bastante competitiva.

### 8.7 - Qualidade Total e Projeto Total

A qualidade total pode ser entendida de três modos, a saber:

1º- O princípio Unificador.

É base para toda a estratégia, planejamento e atividades da empresa. Abraça a filosofia de total dedicação aos clientes de modo que suas necessidades sejam atendidas e suas expectativas excedidas.

2º- Resultados Positivos.

Neste caso consideram-se os benefícios resultantes da Qualidade Total: clientes leais; tempo reduzido; ambiente de trabalho com moral elevada, uma ética geral de melhoria contínua.

3º- Ferramentas Técnicas de Controle de Qualidade.

Discutindo as técnicas e ferramentas que levam aos

resultados da Qualidade Total, entre outros citamos: controle de qualidade, estudos de confiabilidade, just-in-Time, desenvolvimento organizacional, liderança, etc.

Do mesmo modo, o Projeto Total pode ser entendido de três modos a saber:

1º- Princípio Unificador.

É base para garantir a qualidade de projeto, reunindo todas as áreas da empresa em torno de produzir um Produto Total. Assim elimina barreiras entre a engenharia e produção, marketing e engenharia e sucessivamente, fortalecendo o conceito de cliente interno: o próximo no processo é seu cliente.

2º- Resultados Positivos.

Neste caso considera-se o potencial efeito no custo final decorrente das decisões de projeto. Também se leva em conta o potencial de redução no tempo do ciclo de desenvolvimento de produto até seu lançamento ao mercado. Ganha-se também o aumento do conhecimento em toda a organização pelo aumento do conhecimento técnico das pessoas envolvidas.

3º- Ferramentas da Engenharia.

A aplicação de um leque de ferramentas de engenharia, há muito discutidas, que são redescobertas e sua aplicação facilitada pelos recursos computacionais existentes.

## 9. DO FRACASSO AO SUCESSO DE NOVOS PRODUTOS:

### PROJETO TOTAL

#### 9.1 - Porque Alguns Produtos Fracassam

Há evidências crescentes de que muitos produtos têm problemas de adequação ao uso consequente do projeto. Em JURAN; GRINA (1992), encontramos os seguintes resultados:

- . Num estudo clássico de 850 falhas de campo de equipamentos eletrônicos simples, 43% das falhas foram devidas ao projeto técnico.
- . Num estudo sobre sete programas espaciais, 35% das falhas de componentes foram devidas a erros de especificação ou projeto.
- . Durante um período típico de 11 meses numa indústria química 42% do capital gasto em retrabalho, foram oriundos de pesquisa e desenvolvimento.
- . Produtos mecânicos e eletrônicos de complexidade moderada, 40% dos problemas de adequação ao uso devem-se a erros durante o desenvolvimento.
- . Num ano típico, uma empresa eletrônica determinou que alterações no projeto correspondia a 67% do lucro operacional e 80% delas resultavam de deficiência de projeto.

Porém, a falta de qualidade (adequação ao uso) é uma entre muitas causas do fracasso dos produtos.

O estudo das causas de fracasso de alguns produtos nos levou a identificar algumas causas comuns entre eles, independente de se tratarem de produtos de consumo (comidas congeladas) ou bens duráveis (automóveis). Embora as empresas tenham melhorado sua qualidade, produtividade e racionalizado seus sistemas operacionais, o índice de fracasso de novos produtos continua praticamente o mesmo. No jornal GAZETA MERCANTIL (13 Ago. 1993), encontramos uma extensa reportagem sobre

o assunto. Também encontramos em LENDREVIE et al.(1992), HARTLEY, R.F. (1989) e HARTLEY, R.F. (1991) várias descrições de casos de fracasso, em KLETZ (1993) acidentes industriais.

Entre os casos mais recentes: a Dell Computer Corp. reconhece que se atrapalhou no lançamento do seu "notebook". A Toyota Motor Comp. registra vendas iniciais decepcionantes para sua pickup T100. A Coca-Cola tem problemas com uma máquina misturadora para refrigerantes para ser usada em escritórios. A empresa de consultoria Kuczumski & Associates, acaba de estudar os índices de sucesso de 11 mil novos produtos lançados por 77 empresas industriais, de serviços e de consumo. Eles constataram que apenas 56% dos produtos lançados ainda estão no mercado cinco anos depois, conforme mostra a reportagem do jornal GAZETA MERCANTIL. Na Tabela 9.1, apresentamos uma série de produtos que fizeram história na galeria dos fracassos.

Como no Brasil não conhecemos estudos publicados sobre o assunto, evitamos citar alguns casos que poderiam levar a discussões improdutivas.

**Tabela 9.1 ALGUNS PRODUTOS QUE FRACASSARAM**

Produto	Nome	Fabricante	Prejuízo US\$(Mils)
.Carro	Edsel	Ford Motor Co.	250
.Vídeo	VideoDisc	RCA	500
.TV a cabo	TV-Cable Week	Time Inc.	47
.Couro sintético	Corfam	Du Pont	80
.Câmara de filmagem	Polavision	Polaroid	ND
.Filme	Heaven's Gate	United Artist	ND
.Microcomputador	PC Jr.	IBM	40
.Refrigerante	New Coke	Coca-Cola	ND
.Cigarros	Premier	R.J. Reynold	ND
.Comida sintética	Simplesse	Nutrasweet	ND

ND = Não disponível.

Fonte: GAZETA MERCANTIL (13 Ago.1993) Caderno de Fim de Semana p.4.

Da análise da literatura disponível concluímos as seguintes causas principais de fracasso:

- . O produto não atendia às necessidades do cliente.
- . Produto com características de qualidade aquém do que foi anunciado.
- . Produto mal posicionado em preço e mercado alvo.
- . Falta de integridade do produto, conforme conceito exposto no Capítulo 4.
- . Teimosia da direção da empresa em impor o produto ao mercado.
- . Produto chegou atrasado ao mercado.
- . Produto difícil de usar.

Também da análise da literatura disponível, apresentamos os seguintes cuidados com um novo produto. Se não garantem o sucesso, pelo menos minimizam as possibilidades de fracasso:

- 1-Consultar os clientes. Não lançar um produto só porque o departamento de engenharia desenvolveu uma nova tecnologia. Consultar os usuários a cada passo da fase da concepção à colocação no mercado.
- 2-Fixar metas realistas. Um produto que pode produzir US\$ 20 milhões em vendas não deve ser lançado pretendendo-se US\$ 40 milhões para ele.
- 3-Equipe de desenvolvimento. Fazer engenharia, marketing, produção e finanças trabalharem juntos. Implementar o conceito de cliente interno - o próximo no processo é seu cliente.
- 4-Criar pontos de verificação. Não deixar que um novo produto acumule um impulso perigoso. A cada estágio de desenvolvimento de um produto assegurar-se de que ele atende as especificações de desempenho e aos critérios específicos de viabilidade de produção, de aceitação pelo cliente, de suporte pós-vendas e objetivos de orçamento.
- 5-Análise criteriosa das pesquisas de mercado. Um teste de mercado pode ser bem sucedido apenas porque os consumidores

gostaram da nova curiosidade. Levar em conta que em testes de mercado os clientes não tiveram que pagar pelo produto e escolhê-lo entre diversos no mercado com preços diferentes. Portanto, fazer pesquisas de mercado em número suficiente e ler o que a pesquisa diz, sem buscar interpretações que favoreçam o produto.

6-Fazer um estudo crítico. As empresas tendem a fugir dos fracassos. Os diretores punem os de baixo escalão se eximindo da responsabilidade. DEMING há muito tempo afirmou que 85% da responsabilidade é da alta gerência. Portanto a diretoria deve revisar formalmente o que houve de errado e aplicar as lições encontradas no próximo lançamento. Recompensar os executivos que aprendem através dos erros. A Ford, apresenta um caso clássico: Após o fracasso do Ford Edsel, o tremendo sucesso do Ford Mustang, com a mesma equipe. Em GERSHMAN (1992), encontramos uma série de "casos" de como acertar da segunda vez.

## 9.2 - Porque Alguns Produtos Têm Sucesso

A revista BUSINESS WEEK (7 Jun. 1993), apresenta extensa matéria sobre os produtos premiados pelo "design". A matéria foi traduzida pelo jornal GAZETA MERCANTIL (17 Jun.1993). A matéria discutia as razões de sucesso de um produto. O que nos chamou à atenção foi esse assunto estar sendo apresentado em meio de comunicação destinado ao público em geral, e não em revistas especializadas. O que nos leva à conclusão de que o público em geral, tem interesse no assunto "design". Também em HARTLEY, R.F. (1985), encontramos uma análise do sucesso de produtos lançados até aquela data.

O ponto comum nos estudos até meados da década de 80 e aqueles de Junho de 1993, para sucesso de um produto, é o projeto. Um produto bem projetado é um produto de sucesso.

Os produtos eleitos campeões pela revista Business Week são: o Powerbook (Apple); telefone celular MicroTac (Motorola); depilador Sensor para mulheres (Gillette); chave de fenda com velocidade variável (Ingersoll-Rand); Dodge Intrepid (Chrysler).

Todos eles trazem em comum o bom projeto, citado pelo jornal como "Design Elegante".

Existem outros fatores para o sucesso, porque o "Design Elegante" é resultado de um processo. OGE (1990), apresenta o resultado da empresa de consultoria BOOZ, Allen Hamilton, que mostra os fatores que atribuíram para o sucesso de novos automóveis, na Tabela 9.2.

Tabela 9.2 FATORES QUE CONTRIBUEM PARA O SUCESSO DE NOVOS PRODUTOS.

Fatores	Influência
1.º Ajusta-se às Necessidades do mercado.	88%
2.º Ajusta-se às forças internas da empresa.	63%
3.º Superioridade tecnológica	53%
4.º Suporte da alta gerência	46%

Fonte: OGE (1990) p. 110.

Da análise da literatura, que inclui estudo de todos os produtos premiados de 1990 a 1993, publicados na revista Business Week, apontamos as seguintes razões para o sucesso de um produto:

- Projeto com foco no cliente. Fazer do modo como o cliente se utiliza do produto, o foco do desenvolvimento e não a tecnologia.

- . No caso de automóveis projetar o carro do interior para fora.
- . Equipe de projeto. Derrubada das barreiras entre engenharia, fabricação, fornecedores, etc. Todos participam da concepção ao lançamento do produto.
- . Conceito de produto. Um forte conceito de produto materializado por um protótipo de engenharia o mais cedo possível, antes do comprometer os altos custos de ferramental.
- . Protótipos o quanto antes. É crítico para avaliações funcionais e visualização do conceito, avaliação pelos clientes potenciais, viabilidade de produção e estudos de confiabilidade.
- . Projeto para manufatura. Sempre projetar com os seguintes parâmetros em mente: qualidade, custo, tempo de entrega.
- . Surpreender o cliente. Sempre colocar no produto alguma coisa extra.
- . Projeto para pessoas. Considerar os aspectos de ergonomia, estética, função, facilidade de usar.
- . Projeto para serviço. Manutenção fácil.

### 9.3 - Projeto Tradicional Versus Projeto Total

Pela análise das razões de fracasso e sucesso de novos produtos verifica-se que o modelo de projeto convencional não se adequa perfeitamente ao desenvolvimento de produtos modernos de forma a evitar o fracasso desses produtos ou assegurar o sucesso consistentemente. Na prática verificamos cinco aspectos comumente encontrados no projeto tradicional:

- 1- Embora em teoria, a análise de dados de mercado leve à identificação das necessidades e desejos dos clientes e de fato as empresas mantenham registros de várias pesquisas de mercado, o cliente não é realmente parte do processo tradicional de desenvolvimento do produto. Não é surpresa

portanto que um novo produto não atenda às necessidades ou desejos do cliente.

2. Pouco ou nenhum "feedback" ocorre entre as áreas, o que gera ressentimento entre as áreas afetadas pelo desenvolvimento e produção de novos produtos.
3. Ninguém é responsável pelos resultados do desenvolvimento de novos produtos. Aceitam-se com naturalidade as modificações de última hora, os problemas em campo, etc., na suposição que um programa de garantia e um serviço de atendimento ao cliente sejam suficientes para diluir a "ira do cliente insatisfeito".
4. O tempo despendido entre a identificação das necessidades do mercado até à venda da primeira unidade é tão longo que a análise realizada perde seu efeito.
5. Como o processo é feito por fases e cada fase se inicia após ter completado a anterior, praticamente considerações iniciais do projeto são rediscutidas e o processo de desenvolvimento é reiniciado. Essa duplicação de esforços aumenta os custos, consome tempo levando o produto a custar mais caro, chegar atrasado ao mercado ou ambos.

Quando analisamos algumas atividades específicas do desenvolvimento do produto, também ressalta a inadequação do projeto tradicional para os tempos atuais que requerem qualidade, preço e prazo.

Para satisfazer os clientes a empresa deve ser dirigida de fora para dentro (a partir do ponto de vista do cliente) e que as estruturas organizacionais sejam reduzidas na busca do fazer mais com menos. Na Tabela 9.3, apresentamos as características e suas conseqüências de algumas atividades típicas no projeto tradicional.

Tabela 9.3 FASES DO PROJETO TRADICIONAL E SUAS CARACTERÍSTICAS.

Fases	Características	Consequências
Objetivos	Múltiplos e ambíguos; compromissos diferentes.	Larga fase de planejamento, o projeto em si torna-se a motivação para obtenção de consenso; conflitos a posteriori.
Necessidades dos Clientes	Concentra-se nos clientes atuais e confusão em relação ao futuro.	Alvos móveis; surpresas e desapontamentos nos testes de mercado; modificações posteriores e descompasso entre projeto e mercado.
Engenharia	Estreito foco da engenharia em soluções intrinsecamente elegantes; pouca preocupação com o cronograma.	Escorregamento de datas, compressão nas fases finais. Soluções que agradam engenheiros e desagradam os clientes.
Desenvolvimento.	Confiança nas modificações de engenharia e aceleração da manufatura para equilibrar o cronograma e resolver problemas.	Protótipos não representativos, muitas modificações posteriores; fabricabilidade comprometida; problemas na produção; menores volumes produzidos que o planejado na fase de introdução do produto no mercado.
Revisões de Projeto	Especialistas limitados pela departamentalização.	Vai-e-volta entre engenharia e manufatura; comunicações problemáticas, esforços sem coordenação e direção.
Gerenciamento do Projeto	Direções não muito claras; ninguém com responsabilidade; comprometimento limitado.	Falta de uma visão coerente compartilhada do projeto, transferem-se problemas; muitos inícios e finalizações falsas.

No modelo proposto de Projeto Total identificamos cinco aspectos fundamentais:

1. Trabalho em equipe, que vai além da engenharia simultânea que se restringe a parceria entre projeto e manufatura (eventualmente fornecedor).

Os resultados verificados são aumento de eficiência, conhecimentos técnicos mais concentrados, menor custo por terceirização de projeto, fácil comunicação e enriquecimento do padrão profissional pela troca de conhecimento.

2. Simplificação. A simplicidade do produto é crítica para manufatura. A qualidade do projeto permite uma produção enxuta, de produtos de qualidade a custos menores.
3. Compreensão. O entendimento de que se deve produzir o que vende, leva a área de manufatura a ser suficientemente flexível para aceitar a produção de uma variedade significativa de produtos. Nesse sentido a manufatura atua de forma pró-ativa no estabelecimento de padrões que vão guiar o desenvolvimento de produto.
4. Integração. Os vários elementos organizacionais compartilham o mesmo objetivo sob a ótica da responsabilidade conjunta. Eleva o moral do pessoal, não se transferem problemas e facilita a implementação de controles de qualidade cujos indicadores passam a ser entendidos como oportunidades para melhoria e não medidor de incompetência.
5. A voz do cliente. A análise dos dados de mercado é encarada como parte ativa do processo de projeto. A análise baseia-se em dados quantitativos e qualitativos procurando-se identificar características que levem ao encantamento do cliente no atendimento de necessidades latentes.

Ao analisarmos fases específicas do Projeto Total, notamos posturas opostas àquelas encontradas no projeto tradicional. Na Tabela 9.4, apresentamos características e suas

consequências nas diversas fases do projeto.

Tabela 9.4 FASES DO PROJETO TOTAL E SUAS CARACTERÍSTICAS.

Fases	Características	Consequências
Objetivos	Bem definidos, sem ambigüidade e quantificados.	Objetivos claros e uma compreensão compartilhada dos objetivos do projeto por toda a empresa; resolução de conflitos a níveis mais baixos na empresa no princípio do projeto.
Necessidades dos clientes	Atende as necessidades atuais e esforça-se por identificar necessidades latentes.	Antecipa ativamente as necessidades futuras dos clientes; garante a continuidade de ofertas.
Engenharia	Subordina a técnica à necessidade do cliente. Soluções simples, produtos de fácil utilização, embora complexas tecnologicamente.	Mantém forte concentração no tempo para mercado, enquanto resolve os problemas criativamente; visão sistêmica do conceito de projeto.
Desenvolvimento.	Integrado com várias áreas da empresa. Sinergia de especializações em busca da melhor solução.	Testes e validação do produto e processo antes do acabamento do ferramental ou da produção comercial; projeto correto da primeira vez.
Revisão de Projeto	Aprendizado e enriquecimento mútuo. Foco no problema.	Maior experiência e conhecimento das funções críticas; responsabilidade em grupo e solução de problemas integrado e multifuncional.
Gerenciamento do Projeto	Direções claras e responsabilidades bem definidas. Alto comprometimento.	Forte liderança e comprometimento largamente compartilhado.

Da comparação entre os modelos, reunimos na Tabela 9.5, os principais pontos de diferenciação.

Tabela 9.5 PROJETO TRADICIONAL VERSUS PROJETO TOTAL

Projeto Tradicional	Projeto Total
. Maior tempo para lançar produtos	. Produtos chegam mais rápido ao mercado.
. Menos pessoas envolvidas no desenvolvimento de produto.	. Mais pessoas envolvidas no desenvolvimento de produto.
. Menor custo de desenvolvimento de produto.	. Maior custo do desenvolvimento de produto.
. Maior custo de Manufatura.	. Menor custo de Manufatura.
. Características de desempenho do produto inferiores.	. Características de desempenho do produto superiores.
. Menor aceitação do produto.	. Maior aceitação do produto.
. Abordagem obsoleta, restrita a produtos tradicionais, não se adequa a produtos modernos.	. Abordagem moderna, preferida para produtos modernos, também se adequa a produtos tradicionais.

O Projeto Total é capaz de prover o processo necessário que incorpora abordagens de como evitar o fracasso e as razões de sucesso de um produto.

## 10. COMO IMPLEMENTAR PROJETO TOTAL

A implementação do Projeto Total não leva a adição de pessoal ou equipamentos além daqueles já existentes nas empresas, embora sistemas informatizados sejam desejáveis, não são pré-requisito. O Projeto Total liga-se mais ao modo de fazer e treinamento para mudança de cultura e eliminação de resistências interdepartamentais resultantes de anos de competição interna.

Nas várias seções do capítulo 8 foram adiantadas diversas etapas de como fazer. No caso do Produto Total o conceito é suficientemente detalhado que permite buscar suas características a partir da análise de pesquisas de mercado.

Os passos aqui propostos não pretendem ser completos uma vez que cada empresa tem sua cultura própria e estruturas organizacionais diversas.

### 10.1 - Passos para Implementação do Projeto Total

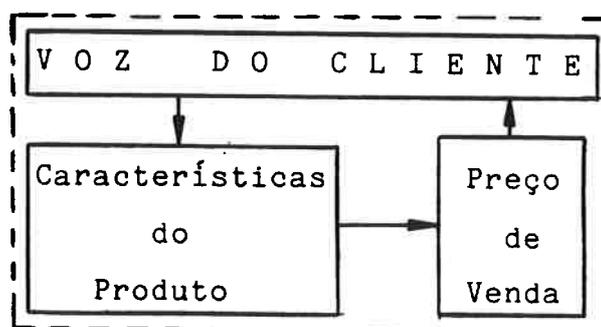
- 1-Criar a missão da empresa contendo aspectos de produto, cliente externo e pessoas da empresa.
- 2-Criar a missão de cada área: manufatura, engenharia, etc. contendo elementos que se referem a clientes externos e internos explicitamente.
- 3-Estabelecer a equipe de projeto multifuncional. Organizar-se por projeto-de-produto, produto a produto.
- 4-A equipe deve ser ampla; de modo a conter os pontos de vista de marketing, vendas, assistência técnica engenharia de projeto, engenharia de manufatura, compras, departamento legal, finanças, etc.
- 5-Identificar as necessidades do cliente através de pesquisas qualitativas, quantitativas e in loco, com o pessoal da engenharia vendo como o cliente se utiliza do produto.

- 6-Selecionar fornecedores para participarem da equipe.
- 7-A equipe deve existir do início do projeto até à venda da primeira unidade.
- 8-Estabelecer os objetivos para cada item da necessidade do cliente. Os objetivos devem ser quantificados. Evitar objetivos conceituais. Esses objetivos devem ser consensuados e abraçados por toda a equipe.
- 9-A equipe deve dimensionar sua tarefa em termos de tempo e recursos.
- 10-Publicação oficial por parte da direção da empresa da nova política atestando seu firme comprometimento.

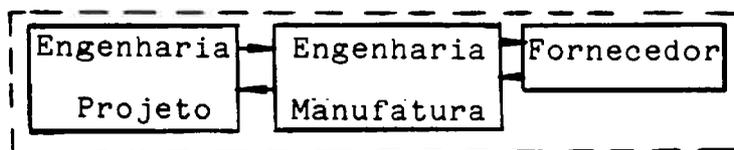
#### 10.2 - Principais Atividades do Projeto Total

Do processo de projeto destacamos os ciclos e descrevemos as principais atividades. Considera-se que em cada ciclo as ferramentas de engenharia deverão ser utilizadas de forma conveniente para autocontrole de qualidade do projeto.

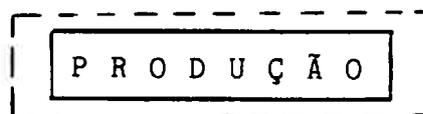
- a) Ciclo da concepção e determinação do Preço objetivo.



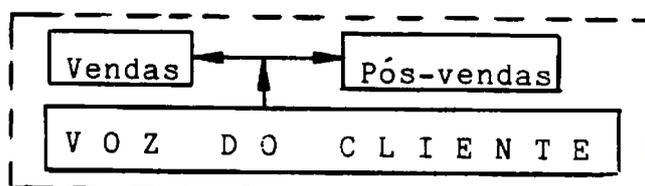
- b) Ciclo da Engenharia para atingir o custo objetivo e qualidade.



- c) Ciclo de produção



- d) Ciclo de comercialização.



Na fase de ciclo de concepção e determinação de preço de vendas, temos as seguintes atividades:

- . A partir das necessidades do cliente estabelecer um conceito do produto.
- . Definir claramente o tipo de consumidor para quem o produto é dirigido.
- . Definir o preço de vendas submetido ao julgamento do cliente para prover mais valor.
- . Projeção do volume de vendas anuais e o período de vida do produto (ciclo do produto).
- . Características de qualidade, se possível nas próprias palavras do cliente.
- . Após estabilizar-se o produto e suas características e um preço adequado deve ser elaborada a documentação que chamamos de "Registro de Nascimento do Produto" que normalmente deve conter:
  - . Visão e missão da empresa.
  - . Conceito do produto em linha com a missão e visão da empresa.
  - . Projeção de vendas.
  - . Características principais do produto-objetivo de conformidade e desempenho.
  - . Objetivos de excelência - oportunidades para exceder as expectativas do cliente.
  - . As inovações necessárias no produto.
  - . Custo estimado para o projeto.
  - . Data objetivo de lançamento.
  - . Lucratividade esperada por unidade vendida.
  - . Organização da equipe de projeto, seus componentes organizacionais e responsabilidades.
  - . Um apêndice contendo análise da concorrência. Um comparativo entre as características do produto proposto versus a concorrência.

No ciclo de engenharia as seguintes atividades principais:

- . Traduzir para especificação técnica as necessidades do cliente. Como auxílio a essa tarefa apresentamos na Tabela 10.1 os grandes temas verbalizados pelo cliente e sua interpretação técnica, baseado em nossa experiência na indústria automobilística.
- . Projetar os componentes considerando-se sua fabricação, montagem e serviço no campo.
- . Envolver os fornecedores aproveitando suas especialidades para otimizar os componentes em peso, tamanho, função e resistência.
- . Realizar todos os estudos de confiabilidade e testes de durabilidade dos componentes.
- . Fazer a certificação do produto total pela avaliação de protótipos.
- . Todo o componente deve ser desenvolvido com os engenheiros de produção e projetistas de ferramentas e dispositivos.

Tabela 10.1 VOZ DO CLIENTE PARA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA.

Cliente Percepção	Engenheiro Especificação
. Confiabilidade	. Resistência
. Resistência	. Rigidez
. Durabilidade	. Resistência ao desgaste
. Tecnologia	. Tamanho/peso adequados/Eletrônica.
. Fácil Manutenção	. Elementos Padronizados disponíveis no mercado.
. Segurança	. Confiabilidade
. Legalidade	. Normas Legais
. Qualidade/Beleza	. Forma e Acabamento

No ciclo de produção devem ser estabelecidos:

- . Os controles do processo de produção.
- . A frequência de inspeção.
- . Auditorias de qualidade do produto final.
- . Processos de armazenagem do produto final.
- . Métodos de embalagem.
- . Expedição e controle de volume produzido.

No ciclo de comercialização, devem ser estabelecidos:

- . Os canais e forma de distribuição.
- . O suporte técnico - política de pós-vendas.
- . Métodos para se ouvir o cliente e medir sua satisfação com o produto recebido.
- . Estabelecer um processo para três medidas fundamentais: custo do reparo versus custo prometido; prazo de entrega versus o combinado; o reparo ficou correto da primeira vez.
- . As pesquisas junto ao cliente na fase de comercialização vão reiniciar o processo de projeto.

## 11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 11.1 - Conclusões

A qualidade de um produto é determinada no seu projeto. Uma abordagem tendo esse conceito como linha mestra deve ser implementada para desenvolvimento de novos produtos.

O conceito de Produto Total permite às empresas desenvolverem programas de comunicação consistentes, e à engenharia fornece características de produto, capazes de serem abordadas tecnicamente.

O Projeto Total elege o cliente como ponto de partida e de chegada para desenvolvimento de um novo produto assegurando o uso de recursos existentes de forma otimizada.

O Projeto Total facilita a implementação da Qualidade Total e se integra perfeitamente ao sistema de garantia de qualidade proposto nas normas ISO 9000 e ISO 9001 em linha com as diretrizes apresentadas na norma ISO 9004.

Produto Total e Projeto Total atendem completamente os requisitos atuais de qualidade, preço e prazo.

A adoção do Produto Total para definição de produto e a implementação do Projeto Total são fatores de desenvolvimento para o aumento de competitividade das empresas por fornecerem velocidade, consistência, acuidade, agilidade e capacidade de inovação para responderem à demanda do mercado.

O Produto Total e Projeto Total requerem um novo gerenciamento que alie disciplina na busca dos objetivos e participação na condução do processo.

Finalmente, o Projeto Total, por proceder o desenvolvimento de produto tendo por metas principais baixo custo e qualidade, assegura que a participação da engenharia de projeto seja um dos fatores de sucesso de um novo produto.

## 11.2 - Trabalhos Futuros

A crescente preocupação com a qualidade desde o projeto levou ao conceito do projeto para manufatura. Nessa área existem estudos dos fatores que afetam a montagem como BARKAN; HINCKLEY (1993).

É necessário o desenvolvimento de estudos similares para estatisticamente se comprovarem quais os fatores que afetam serviço. O que afeta a desmontagem?

Existem também muitos fatores em projeto que são tratados como independentes e na realidade existe uma correlação entre eles. A técnica estatística para redução do conjunto de fatores a somente aqueles que não se correlacionam chama-se, Análise dos Componentes Principais. O uso dessa técnica junto com os Métodos Taguchi pode levar a redução considerável do tempo gasto na Análise Estatística Experimental.

Por último a qualidade chega ao projeto através da série de normas ISO 9000, que claramente determina o que deve existir no sistema de garantia de qualidade, mas não como fazer. O como fazer encontra-se espalhado em várias áreas: confiabilidade, estatística, probabilidade, análise de risco, análise de custo, etc. É necessário que todo esse conhecimento seja compilado de forma ordenada dando corpo a uma estrutura de conhecimento mostrando como fazer engenharia com qualidade. Talvez não tenha grande valor para o avanço da ciência, mas terá grande valor para a indústria e a sociedade que se beneficiará de produtos que lhes imputem menos perdas.

## 12. REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, O.L. Os sistemas devem se adaptar ao desejo dos consumidores. *Máquinas e Metais*, p. 44-51, junho 1992.
- BACH, C. *Éléments des machines - leur calcule et des leur construction*. 7. ed. Paris, Libraire Polytechnique, Ch. Beranger, 1901. 711p.
- BARKAN, P.; HINCKLEY, C.M. The benefits and limitations of structured design methodologies. *Manufacturing Review*, v.6, n.3, p. 211-20, 1993.
- BEREZOVSKY, YU. et al. *Machine design*. Moscow, Mir Publishers, 1988. 456p.
- BRAHAM, J. Design for excellence: industrial design awards. *Machine Design*, p. 22-8, June. 25, 1992.
- BUSINESS WEEK. Hot products: smart design is the common thread. New York, McGraw-Hill, p. 40-55, June 17, 1993.
- CAMPOS, V.F. TQC - Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). 2.ed. Belo Horizonte, UFMG/Fundação Christiano Ottoni, 1992. 220p.
- CLANCY, K.J.; SCHULMAN, R.S. *The marketing revolution*. New York, Harper Press, 1991. 314p.
- CLARK, K;B.; FUJIMOTO, T. The power of product integrity. *Harvard Business Review*, p. 107-18, Nov/Dec. 1990.
- CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T. *Product development performance*. Boston, Mass; Harvard Business School Press, 1991. 409p.
- COGAN, S. Resgatar a importância da Análise de Valor. Estado de São Paulo. São Paulo, 17 ago. 1993. Caderno de Economia, p.4A.
- COLEMAN, J.R. Design for assembly: users speak out. in: SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS, ed. *Simultaneous Engineering*. Dearborn, Mich., SME, 1990. p.85-91.
- CROSBY, P. *Qualidade é investimento*. 3.ed. Rio de Janeiro, José Olimpio Editora S.A., 1988. 327p.
- CSILLAG, J.M. *Análise do Valor: metodologia do valor*. 2.ed. São Paulo, Editora Atlas, 1986. 284p.

- DAETZ, D. The effect of product design on product quality and product cost. *Quality Progress*, p.63-7, June 1987.
- DAVIDOW, W.H.; UTTAL, B. Serviço total ao cliente: arma decisiva. São Paulo, Editora Campos, 1991. 264p.
- DEMING, W.E. Qualidade: a revolução da administração. São Paulo, Marques Saraiva S.A./Autolatina Brasil S.A., 1990. 367p.
- DEUTSCHMAN, A.D. et al. Machine design: theory and practice. New York, MacMillan Publishing Co., Inc., 1975 932p.
- DHILLON, B.S. Quality control, reliability and engineering design. New York, Marcel Dekker, 1985. 294p.
- DIMAROGONAS, A.D. Computer aided machine design. London, Prentice-Hall International (Uk) Ltd., 1989. 729p.
- DOBROVOLSKI, V. et al. Elementos de Máquinas. 3.ed. Moscou, Editora Mir, 1980. 583p.
- EALEY, A.L. Quality by design: Taguchi Methods and US Industry. Dearborn, Mich., ASI Press, 1988. 333p.
- EUREKA, W.E.; RYAN, N.E. QFD: Perspectivas gerenciais do desdobramento da função qualidade. São Paulo, Qualitymark Editora, 1993. 105p.
- EXAME. Uau! Preços em queda no Brasil? São Paulo, 29 set.1993. p.76-83.
- FEIGENBAUM, A.V. Total Quality Control. 3.ed. New York, McGraw-Hill, 1991. 864p.
- FERREIRA, A.B. CAD/CAM: conceito e aplicações em projetos mecânicos e critérios para seleção e utilização em engenharia. São Paulo, 1990. 306p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- FORTUNE INTERNATIONAL. What intelligent consumers want. Dec. 28, 1992. p.42-6.
- GAZETA MERCANTIL. São Paulo, 28 nov. 1992. Seção de Administração e Serviços. n.p.
- GAZETA MERCANTIL. Porque muitos produtos malogram e o que fazer para evitar. São Paulo, 18 jun. 1993. Leitura de Fim de Semana. p.1 e 4.

- GAZETA MERCANTIL. Produto de sucesso, "Design Elegante".  
São Paulo, 13 ago. 1993. Leitura de Fim de Semana.  
p.1 e 4.
- GARVIN, D.A. Gerenciando a qualidade. São Paulo,  
Qualitymark Editora, 1992. 357p.
- GERSHMAN, M. Como acertar da segunda vez. São Paulo,  
Editora Campus, 1992. 278p.
- GREGORY, S.A. The design method. London, Butterworths,  
1966. 354p.
- GUNTER, B. A perspective on the Taguchi Methods.  
Quality Progress, p.44-52. June 1987.
- HALL, A.S. et al. Elementos orgânicos de máquinas.  
São Paulo, McGraw-Hill, 1979. (Coleção Schaum). 588p.
- HARE, L.B. Perspectives on Taguchi controversy. In: 44 th  
Annual Quality Congress, May 14-16, 1990. San Francisco,  
Cal. Transactions. ASQC, 1990. p.381-4.
- HARTLEY, J.R. Concurrent Engineering. Cambridge, Mass.,  
Productivity Press, 1992. 308p.
- HARTLEY, R.F. Marketing success. New York, John Willey,  
1985. 242p.
- HARTLEY, R.F. Marketing mistakes. 4.ed. New York,  
John Willey, 1989. 278p.
- HARTLEY, R.F. Management mistakes & success. 3.ed.  
New York, John Willey, 1991. 396p.
- HAUSER, J.R.; CLAUSING, D. The house of quality. Harvard  
Business Review, p.63-73, May/June 1988.
- HOAGLIN, D.C. et al. Análise exploratória de dados técnicas  
robustas. Lisboa, Edição Salamandra, /1992/ 446p.
- HUIZENGA, T.P. et al. Early involvement. Quality Progress,  
p.81-85, June 1987.
- HUTCHENS Jr, S. What customers want: result of ASQC/Gallup  
survey. Quality Progress, p.33-40, Feb.1989.

- IMAI, M. Kaizen, a estratégia para o sucesso competitivo. 3.ed. São Paulo, IMAM, 1990. 235p.
- ISHIKAWA, K. What is Total Quality Control? The Japanese way. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1985. 215p.
- ISHIKAWA, K. Introduction to quality control. Tokyo, 3A Corporation, 1990. 435p.
- JURAN, J.M.; GRZYNA, F.M. Controle de Qualidade-Handbook. 4.ed. trad. São Paulo, Makron Books, 1991. v.1. 337p.
- JURAN, J.M.; GRZYNA, F.M. Controle de qualidade-Handbook. 4.ed. trad. São Paulo, Makron Books, 1992. v.3. 397p.
- JUVINALL, R.C.; MARSHEK, K.M. Fundamentals of machine component design. 2.ed. New York, John Wiley, 1991. 804p.
- KLETZ, T.A. O que houve de errado? Casos de desastres em indústrias químicas, petroquímicas, refinarias. São Paulo, Makron Books, 1993. 279p.
- LAWTON, R.L. Creating a customer-oriented culture for service quality. Quality Progress, p.34-6, May 1989.
- LELE, M.M.; SHETH, J.N. The customer is key. New York, John Wiley, 1991. 260p.
- LENDREVIE, J. et al. Mercator: teoria e prática do marketing. 2.ed. Lisboa, Publicações don Quixote, 1992. 516p.
- LEVITT, T. Marketing myopia. Harvard Business Review, p.45-56, July/Aug. 1960.
- LEVITT, T. Marketing para o desenvolvimento dos negócios. São Paulo, Editora Cultrix Ltd., 1975. 297p.
- LEVITT, T. A imaginação em marketing. 2.ed. São Paulo, Editora Atlas, S.A., 1990. v.1. 189p.
- MARANHÃO, M. ISO Serie 9000: manual de implementação. São Paulo, Qualitymark Editora/CNI, 1993. 130p.
- MELAN, E.H. Improving responsiveness in product development. Quality Progress, p.26-30, June 1989.

- MIZUNO, S. Company-wide quality control. Tokyo, Asian Productivity Organization, 1988. 313p.
- MÖLLER, C. O lado humano da qualidade. São Paulo, Livraria Pioneira Editora, 1993. 179p.
- MOVNIN, M.; GOLTZIKER, D. Machine Design. Moscow, Mir Publishers, 1969. 363p.
- NIEMANN, G. Elementos de máquinas. São Paulo, Edgard Blücher, 1971. v.1. 220p.
- OGE, C. Achieving world class performance in product development: the organizational challenge. EIU International Motor Business, p.95-123, April 1990.
- ORLOV, P. Fundamentals of machine design. Moscow, Mir Publishers, 1976. v.1. 517p.
- PETERSEN, D.E. A better idea: redefining the way americans work. Boston, Mass., Houghton Mifflin Co., 1991. 270p.
- PLONSKY, G.A. As empresas de serviço de engenharia no Brasil: do CAD a Engemática. São Paulo, 1985. 405p. Tese (Doutorado)- Escola Politécnica, Universidade São Paulo.
- RADO, L.G. Enhance product development by using capability indexes. Quality Progress. p.38-41, April 1989.
- RESHETOV, D.N. Machine design. Moscow, Mir Publishers, 1978. 702p.
- ROSS, P.J. Aplicações das técnicas Taguchi na engenharia de qualidade. São Paulo, Makron Books, 1991. 333p.
- ROTHERY, B. ISO 9000 - Inclui atualização para 1993, propostas para 1996 e manual da qualidade para produtores. São Paulo, Makron Books, 1993. 268p.
- RYAN, T.P. Taguchi approach to experimental design. Quality Progress, p. 34-6, May 1988.
- SAVOIE, M.J. et al. 80/20: quality of design in system development. In: 44 th Annual Quality Congress, May 14-16, 1990. San Francisco, Cal. Transactions. ASQC, 1990. p.297-302.

- SCHONBERGER, R.J. Construindo uma corrente para satisfação do cliente. São Paulo, Livraria Pioneira Editora, 1992. 336p.
- SELL, I. A importância de requisitos ergonômicos no desenvolvimento de produtos. In: 4.º SEMINÁRIO BRASILEIRO DE ERGONOMIA, 4-12 dez. 1989, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, 1989. p.51-6.
- SHIGLEY, J. Mechanical engineering design. 2.ed. Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha, 1972. 753p.
- SOIN, S.S. Total quality control: essentials. New York, McGraw-Hill, 1992. 312p.
- STALK, G. et al. Competing on capabilities: the new rules of Corporate strategy. Harvard Business Review, p. 59-63, Mar./Apr. 1992.
- STALK, G.; HOUT, T.M. Competindo contra o tempo. São Paulo, Editora Campos, 1993. 314p.
- STOLL, H.W. Design for manufacture. Manufacturing Engineering, p.67-73, Jan. 1988.
- TAGUCHI, G. Introduction to quality engineering: designing quality into product and process. Tokyo, Asian Productivity Organization, 1986. 191p.
- TANNER, J.P. Product manufacturability. In: SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS, ed. Simultaneous Engineering. Dearborn, Mich., SME, 1990. p.30-3.
- TOLEDO, J.C. Controle de qualidade industrial. São Paulo, Editora Atlas S.A., 1987. 182p.
- TRIBUS, M.; SZONYI, G. An Alternative View of the Taguchi approach. Quality Progress, p.46-52, May 1989.
- URBAN, G.L. et al. Essentials of new product management. Englewood Cliffs, NJ., Prentice-Hall, Inc., 1987. 340p.
- VISÃO. Histórias de infidelidade. São Paulo, 29 abr. 1992. p.30-1.
- VISÃO. A classe média vai a luta. São Paulo, 5 ago. 1982. p.18-21.

VISÃO. O bolso fala alto. São Paulo, 24 jun. 1992.  
p.50-1.

WHEELRIGHT, S.C.; CLARK, K.B. Creating project plans to focus product development. Harvard Business Review, p. 70-82, Mar./Apr. 1992a.

WHEELRIGHT, S.C.; CLARK, K.B. Revolutionizing product development. New York, The Free Press, 1992b. 364p.

WHEELRIGHT, S.C.; SASSER, W.E. The new development map. Harvard Business Review, p.112-25, May/June 1989.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. The machine that changed the world. New York, Harper Perennial, 1991. 323p.

ZIAJA, H.J. Total product quality process model.  
In: 44th Annual Quality Congress, 14-16,1990.  
San Francisco, Cal. Transactions, ASQC 1990. p.335-41.